

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΤΗΣ ΑΓΩΓΗΣ: ΕΙΔΙΚΗ ΑΓΩΓΗ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ/ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΛΗΣ ΤΩΝ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ ΣΕ ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ
ΔΥΣΑΡΙΘΜΗΣΙΑ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Ι. ΒΑΖΑΝΑΣ

ΜΕΛΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:

1. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΙΔΗΣ (*επιβλέπων*), ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΠΤΕΑ-ΠΘ
2. ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΒΑΒΟΥΓΥΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΠΤΕΑ-ΠΘ
3. ΧΑΡΟΥΛΑ ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΥ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ, ΠΤΕΑ-ΠΘ

ΒΟΛΟΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2016

Βαθμολογία	Αριθμητικά	
	Ολογράφως	

«Υπεύθυνη Δήλωση μη λογοκλοπής και ανάληψης προσωπικής ευθύνης»

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, και γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα και ενυπογράφως ότι η παρούσα εργασία με τίτλο «Βιβλιογραφική Ανασκόπηση/Διερεύνηση της συμβολής των εκπαιδευτικών λογισμικών σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαρθρησία» αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές από τις οποίες χρησιμοποίησα δεδομένα, ιδέες, φράσεις, προτάσεις ή λέξεις, είτε επακριβώς (όπως υπάρχουν στο πρωτότυπο ή μεταφρασμένες) είτε με παράφραση, έχουν δηλωθεί κατάλληλα και ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο ΔΗΛΩΝ

Νικόλαος Ι. Βαζάνας

19/10/2016

Περίληψη

Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να συντάξει μία θεωρητική αναφορά σχετικά με τη συμβολή των εκπαιδευτικών λογισμικών στη διδασκαλία μαθηματικών εννοιών σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμσία. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε αν και κατά πόσο τα εκπαιδευτικά λογισμικά συμβάλλουν στην ανάδυση των μαθηματικών διεργασιών και την απόκτηση των μαθηματικών δεξιοτήτων. Επίσης, αναζητήθηκαν οι προϋποθέσεις υπό τις οποίες ένα εκπαιδευτικό λογισμικό καθίσταται αποτελεσματικό και προτάθηκαν συγκεκριμένες παιδαγωγικές προδιαγραφές για το σχεδιασμό μελλοντικών εκπαιδευτικών λογισμικών. Για την εξυπηρέτηση των επιμέρους σκοπών πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση της πρόσφατης βιβλιογραφίας με σκοπό την εξεύρεση εμπειρικών ερευνών, των οποίων ο σχεδιασμός να συνίστατο σε εκπαιδευτική παρέμβαση με τη χρήση ενός εκπαιδευτικού λογισμικού. Συλλέχθηκαν 13 μελέτες οι οποίες τέθηκαν σε επεξεργασία και κωδικοποίηση με τη μέθοδο της ανάλυσης περιεχομένου. Προέκυψε ότι τα εκπαιδευτικά λογισμικά ενισχύουν την ανάδυση των μαθηματικών διεργασιών, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνουν την απόκτηση μαθηματικών δεξιοτήτων. Η αποτελεσματικότητα τους συνίσταται κυρίως στον υποστηρικτικό τους χαρακτήρα, παρά στη διδακτική τους επάρκεια. Φάνηκε ότι τα εκπαιδευτικά λογισμικά συμβάλλουν στη διδασκαλία των μαθηματικών όταν χρησιμοποιούνται ως μέσα διδασκαλίας χωρίς να υποκαθιστούν την παρουσία του φυσικού προσώπου. Ακόμη, ένας μικρός αριθμός προϋποθέσεων (διάρκεια εξάσκησης, ηλικιακή καταλληλότητα, παιγνιώδης μάθηση, κίνητρα) φάνηκε να υποστηρίζει την αποτελεσματικότητα των λογισμικών. Επιλογικά, επισημάνθηκαν σαφείς και εμπειριστατωμένες προτάσεις για το μελλοντικό σχεδιασμό εκπαιδευτικών λογισμικών που στηρίζουν κατά βάση την παιδαγωγική διάσταση αυτών των εφαρμογών, η οποία κρίνεται ως η πλέον σημαντική για τη συμβολή των λογισμικών στην Εκπαίδευση.

Abstract

The aim of this study is to present a theoretical report regarding to the contribution of educational software to the math instruction at students with Developmental Dyscalculia. Specifically, it is examined whether and in which point the educational software contributes to the emergence of mathematical processes and the acquirement of arithmetical skills. This paper was also scouting for the premises on which an educational software becomes efficient. Specific pedagogical standards have been proposed as far as future educational software design is concerned. In order to fulfill the purposes of this study a thorough review of recent bibliography was done seeking empirical studies, the design of which consisted of an educational intervention using software. Thirteen studies were collected and coded according to conventional content analysis. The findings showed that educational software promotes the emergence of mathematical processes as well as it improves the acquirement of arithmetical skills. Its efficiency is mainly driven from its subsidiary role, rather than its instructive adequacy. It seemed that educational software contributes to the math instruction provided it functions as a means of instruction, without trying to substitute the role of teacher. Furthermore, several premises have been found to correspond to the efficiency of educational software (training duration, age appropriateness, play learning, incentives). In conclusion, a number of concrete recommendations were given for the future educational software design, which were based on the pedagogical dimension, a key element of the contribution of software to the Education.

Πίνακας περιεχομένων

Περύληψη.....	4
Abstract	4
1. Εισαγωγή	7
1.1 Σκοπός της εργασίας.....	8
1.2 Μεθοδολογία	9
1.3 Διάρθρωση της εργασίας	10
2. Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία: Χαρακτηριστικά, προέλευση	11
2.1 Γενικά περί Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας	11
2.2 Χαρακτηριστικά παιδιών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία	12
2.3 Θεωρίες σχετικά με την προέλευση της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας	13
2.3.1 Υποθέσεις γνωστικού ελλείμματος	14
2.3.2 Ευρήματα από τη νευροαπεικόνιση	17
3. Χρήση των εκπαιδευτικών λογισμικών σε μαθητές με δυσκολίες στα Μαθηματικά.....	19
3.1 Τα εκπαιδευτικά λογισμικά στην εκπαιδευτική διαδικασία	19
3.2 Συμβολή των εκπαιδευτικών λογισμικών στην Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία	22
4. Εξειδικευμένα εκπαιδευτικά λογισμικά για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία.....	27
4.1 The Number Race.....	28
4.1.1 Συμβατότητα με τα ελλείμματα της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας	28
4.1.2 Περιγραφή του λογισμικού	30
4.1.3 Γενικές πληροφορίες και προδιαγραφές του λογισμικού	32
4.2 The Number Catcher.....	33
4.2.1 Συμβατότητα με τα ελλείμματα της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας	33
4.2.2 Περιγραφή του λογισμικού	35
4.2.3 Γενικές πληροφορίες και προδιαγραφές του λογισμικού	37
4.3 Dybuster Calcularis	38
4.3.1 Συμβατότητα με τα ελλείμματα της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας	38
4.3.2 Περιγραφή του λογισμικού	40
4.3.3 Γενικές πληροφορίες και προδιαγραφές του λογισμικού	42
4.4 Συμπεράσματα και ερευνητικά ερωτήματα	43
5. Μεθοδολογία.....	45
5.1 Κριτήρια επιλογής υλικού επεξεργασίας	45
5.2 Χαρακτηριστικά κωδικοποίησης	46
5.2.1 Συμμετέχοντες	47
5.2.2 Ερευνητικός σχεδιασμός	47

5.2.3 Περιγραφή παρέμβασης	47
5.2.4 Είδος μαθηματικής διεργασίας ή δεξιότητας.....	48
5.2.5 Αποτελέσματα παρεμβάσεων	48
5.3 Προεκτάσεις	49
6. Ανάλυση.....	52
6.1 Αποτελεσματικότητα της χρήσης των εκπαιδευτικών λογισμικών	52
6.1.1 Ανάπτυξη μαθηματικών διεργασιών	52
6.1.2 Διδασκαλία μαθηματικών δεξιοτήτων	56
6.2 Προϋποθέσεις αποτελεσματικής χρήσης των εκπαιδευτικών λογισμικών	61
7. Επίλογος.....	67
7.1 Συμπεράσματα.....	67
7.2 Συνεισφορά στην εκπαίδευση	73
7.3 Συνεισφορά στην έρευνα	74
7.4 Περιορισμοί.....	76
Βιβλιογραφία	78

1. Εισαγωγή

Ένα κι ένα μερικές φορές κάνει έντεκα.

Είναι πλέον δεδομένο ότι η τεχνολογία έχει προσφέρει με μεγάλη γενναιοδωρία της υποστηρικτικές της υπηρεσίες στην Εκπαίδευση. Πλήθος εφαρμογών της υποστηρικτικής τεχνολογίας και εκπαιδευτικά λογισμικά εντάσσονται στη διδακτική πράξη συμβάλλοντας στην καλύτερη κατανόηση και εμπέδωση της σχολικής γνώσης. Ακόμη, στην περίπτωση της Ειδικής Εκπαίδευσης η υποστηρικτική τεχνολογία έχει κάνει εντυπωσιακά βήματα, όπως τα σχολικά βοηθήματα για τις αισθητηριακές αναπηρίες (τύφλωση, κώφωση). Ωστόσο, μεγαλύτερη πρόκληση αποτελούν οι ειδικές μαθησιακές δυσκολίες, μία ομάδα αναπτυξιακών διαταραχών η οποία απαιτεί υψηλής ποιότητας αгаστική συνεργασία μεταξύ του σχεδιαστή του τελικού προϊόντος και του ειδικού παιδαγωγού που θα το εφαρμόσει/χορηγήσει.

Τα τελευταία χρόνια έχουν κάνει την εμφάνιση τους ολοένα και περισσότερα εκπαιδευτικά λογισμικά για τις μαθησιακές δυσκολίες. Κυρίως, το κέντρο ενδιαφέροντος στρέφεται γύρω από τα γλωσσικά μαθήματα, όπου τα ελλείμματα αφορούν κυρίως στην αναγνωστική κατανόηση, την ενίσχυση της βραχύχρονης μνήμης, τη λεκτική αποκωδικοποίηση και γενικά τις δεξιότητες που αφορούν στην κατανόηση και τη σωστή χρήση της γλώσσας (Fessakis, Gouli, & Mavroudi, 2013). Παράλληλα με τα γλωσσικά μαθήματα η διδασκαλία των μαθηματικών προσφέρει άκρως σημαντικές και χρήσιμες δεξιότητες που θεωρούνται απαραίτητες στην καθημερινή ζωή (Kucian & von Aster, 2015). Επομένως, η σχολική εκπαίδευση οφείλει να αποδίδει ισάξια σπουδαιότητα στη γνώση γύρω από τις μαθηματικές έννοιες. Άρα, το πεδίο των μαθηματικών δεν θα μπορούσε να μειονεκτεί το ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών λογισμικών.

Η εμπειρία δείχνει ότι οι επιλογές που προφέρονται σε λογισμικά για τα μαθηματικά είναι σαφώς περιορισμένες σε σύγκριση με τα λογισμικά που προσφέρονται για τη γλώσσα (Sarama & Clements, 2009; Seo & Bryant, 2009). Μάλιστα, αν προστρέξει κανείς στα εξειδικευμένα λογισμικά στα μαθηματικά που αφορούν στην Ειδική Εκπαίδευση, τότε οι επιλογές μετρώνται στα δάχτυλα της μιας χειρός. Εξαιτίας λοιπόν, αφενός των σημαντικών οφελών της μαθηματικής γνώσης στη ζωή του ανθρώπου και αφετέρου των ήδη περιορισμένων λογισμικών που άπτονται

αυτής της γνώσης αποτελεί επιτακτική ανάγκη η διερεύνηση της συμβολής και της αποτελεσματικότητας τους.

Η ειδική μαθησιακή δυσκολία με ελλείμματα στα μαθηματικά ονομάζεται Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία και η εμπειρική έρευνα γύρω από αυτή μετρά λίγα χρόνια ζωής (Kucian & von Aster, 2015). Ωστόσο, το πεδίο χαρακτηρίζεται από δυναμικότητα και καινοτομία, γεγονός που φέρνει στην επιφάνεια όλες τις δυνατότητες (διδασκτικές, υποστηρικτικές) που προσφέρονται για την αποκατάσταση των ελλειμμάτων. Τα εκπαιδευτικά λογισμικά αποτελούν μία τέτοια δυνατότητα, η οποία όμως έχει μελετηθεί πλημμελώς (Symington & Stranger, 2000). Η σχετική έρευνα είναι σε νηπιακό στάδιο και επικρατούν διχογνωμίες και σκεπτικισμός γύρω από το αν και κατά πόσο τα εκπαιδευτικά λογισμικά συμβάλλουν στη διδασκαλία των μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία (Seo & Bryant, 2009; Weng, Maeda, & Bouck, 2014). Ακόμη, τα επιχειρήματα που συνηγορούν υπέρ της συμβολής χαρακτηρίζονται από έλλειψη επαρκούς θεωρητικής τεκμηρίωσης, κυρίως όσον αφορά στον παιδαγωγικό παράγοντα (Seo & Bryant, 2009).

Η σχετική διεθνής ερευνητική εμπειρία μόνο πλούσια δεν χαρακτηρίζεται. Οι μελέτες που εμπεριέχουν παρέμβαση με χρήση λογισμικού σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία είναι λιγοστές. Ωστόσο, είναι αισιόδοξο ότι σχεδόν στο σύνολό τους καταλήγουν σε σημαντικά συμπεράσματα που αποτελούν εφαλτήριο για μελλοντική διερεύνηση (Weng, Maeda, & Bouck, 2014). Αν και αντιφατικά, τα αποτελέσματα πολλές φορές δίνουν ώθηση για νέες υποθέσεις εργασίας που στοχεύουν αφενός στη βελτίωση των υπάρχοντων λογισμικών και αφετέρου σε προτάσεις για το σχεδιασμό νέων.

1.1 Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός αυτής της θεωρητικής μελέτης έγκειται στη διερεύνηση της συμβολής των εκπαιδευτικών λογισμικών στον τομέα των μαθηματικών σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Εξετάζεται η αποτελεσματικότητα ορισμένων παρεμβάσεων με εκπαιδευτικά λογισμικά που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο εμπειρικής έρευνας και γίνεται συστηματική προσπάθεια ανάδειξης των παραγόντων που συνδέονται με τη θετική συμβολή των λογισμικών στην Ειδική Εκπαίδευση των

μαθηματικών. Ακόμη, μέσα από μία κριτική ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας επιχειρείται η σταχυολόγηση των παιδαγωγικών προϋποθέσεων, οι οποίες θα ήταν καλό να λαμβάνονταν υπόψη κατά το σχεδιασμό μελλοντικών λογισμικών.

Στην παρούσα εργασία, όπου γίνεται αναφορά στην αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών λογισμικών, αυτή συνίσταται στην ανάπτυξη δύο διαστάσεων της μαθηματικής γνώσης στους μαθητές: των μαθηματικών διεργασιών και των μαθηματικών δεξιοτήτων. Συνεπώς, επιμέρους σκοπός της εργασίας αποτελεί η αναζήτηση και η ανάδειξη των μαθηματικών διεργασιών και δεξιοτήτων που αναπτύσσονται όταν στη διδασκαλία των μαθηματικών εντάσσεται ένα εκπαιδευτικό λογισμικό. Παράλληλα, η ανάδειξη των δύο αυτών διαστάσεων της μαθηματικής γνώσης οδηγεί στην καταγραφή των προϋποθέσεων παιδαγωγικής χροιάς με τις οποίες θα πρέπει να σχεδιάζεται ένα εκπαιδευτικό λογισμικό

1.2 Μεθοδολογία

Για την εξυπηρέτηση των σκοπών της θεωρητικής μελέτης επιλέχθηκε μέθοδος ανάλυσης των ποιοτικών σχεδιασμών. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ενδελεχής βιβλιογραφική ανασκόπηση σε επιστημονικές βάσεις δεδομένων από τις οποίες συλλέχθηκαν μελέτες προς ανάλυση. Η αναζήτηση αφορούσε κυρίως σε εμπειρικές έρευνες που διεξήγαγαν εκπαιδευτική παρέμβαση με εξειδικευμένα λογισμικά, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε μαθητές ορισμένης ηλικίας κατά τα τελευταία έτη (μετά το 2009).

Οι εμπειρικές έρευνες υποβλήθηκαν σε συμβατική (απλή) ανάλυση περιεχομένου από όπου προέκυψαν συγκεκριμένες κατηγορίες. Είναι γεγονός ότι αντλήθηκαν πληροφορίες κυρίως από τα αποτελέσματα των παρεμβάσεων, τα οποία στη συνέχεια, αφού κατηγοριοποιήθηκαν και ταξινομήθηκαν θεματικά, συνέστησαν το βασικό πυρήνα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την αποτίμηση της συμβολής των λογισμικών σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία και την περαιτέρω εξυπηρέτηση των σκοπών της εργασίας.

1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Η διάρθρωση της παρούσας εργασίας συνίσταται αρχικά στην παράθεση τριών θεωρητικών κεφαλαίων, τα οποία καταπιάνονται με τις επιμέρους προβληματικές. Συγκεκριμένα, γίνεται συστηματική έκθεση σύγχρονων στοιχείων σχετικά με τα χαρακτηριστικά της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας, η κατανόηση των οποίων κρίνεται προαπαιτούμενη για την οποιαδήποτε ενασχόληση με την αποκατάσταση των ελλειμμάτων. Το επόμενο κεφάλαιο καταπιάνεται με την υποστηρικτική τεχνολογία και τη συμβολή της στη γενική αλλά και στην ειδική εκπαίδευση. Στο χώρο αυτό εντάσσονται τα εκπαιδευτικά λογισμικά ως καινοτόμα εργαλεία μάθησης. Στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τρία λογισμικά, τα οποία χαρακτηρίζονται ως τα πλέον εξειδικευμένα για την υποστήριξη μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία στο πεδίο των μαθηματικών. Η παρουσίαση των λογισμικών αυτών γίνεται κυρίως σε συνάρτηση με τα ελλείμματα αυτής της ειδικής μαθησιακής δυσκολίας, ώστε να καθίσταται εμφανής η αντιστοιχία των στόχων των δραστηριοτήτων με τα ελλείμματα που προσπαθούν να αποκαταστήσουν.

Μετά την παράθεση των θεωρητικών κεφαλαίων καθώς και των στόχων και των ερευνητικών ερωτημάτων, ακολουθεί η μεθοδολογία και η ανάλυση. Στο τέλος, υπάρχει ο επίλογος με τη μορφή συζήτησης, στον οποίο προσεγγίζονται με κριτική ματιά τα συμπεράσματα της ανάλυσης και προτείνονται νέες ιδέες αναφορικά με το παιδαγωγικό επίχρυσμα των μελλοντικών εκπαιδευτικών λογισμικών. Εν κατακλείδι, ο υποφαινόμενος προσδοκά το ταπεινό του πόνημα να αποτελέσει μία ακόμη αφορμή για σοβαρή, αντικειμενική και ψύχραιμη ενασχόληση σε θεωρητικό και πρακτικό επίπεδο με την άκρως σημαντική παιδαγωγική διάσταση των εξειδικευμένων στα μαθηματικά εκπαιδευτικών λογισμικών.

2. Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία: Χαρακτηριστικά, προέλευση

2.1 Γενικά περί Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας

Οι ειδικές μαθησιακές δυσκολίες είναι μία κατηγορία αναπτυξιακών διαταραχών που εμπεριέχεται στα δύο διαδεδομένα διαγνωστικά εργαλεία DSM-V και ICD-10. Ο όρος «ειδικές μαθησιακές δυσκολίες» είναι εξαιρετικά γενικός και δεν αντιπροσωπεύει παρά μόνο μία προσπάθεια συμβιβασμού και κοινής βάσης των πολλών επιστημονικών όρων, των διαβαθμίσεων και των υποκατηγοριών που ο ίδιος όρος εμπεριέχει (Πολυχρόνη, 2011). Η επικρατέστερη ειδική μαθησιακή δυσκολία είναι αναμφισβήτητα η δυσλεξία η οποία αποτελεί μόνη της εκτενέστατη περιοχή μελέτης για ερευνητές και επαγγελματίες που ασχολούνται με αυτήν. Μάλιστα, η έρευνα για τη δυσλεξία είναι η πιο πρόωπη συγκριτικά με άλλες μαθησιακές δυσκολίες και οι πρώτες οργανωμένες προσπάθειες ανίχνευσης και παρέμβασης ξεκίνησαν αρκετά χρόνια πριν. Ωστόσο, η δυσλεξία καταλαμβάνει μόνο ένα μέρος του πολυσύνθετου και δαιδαλώδους οικοδομήματος των ειδικών μαθησιακών δυσκολιών.

Η μαθησιακή δυσκολία με πεδίο ελλειμμάτων στα μαθηματικά ονομάζεται συμβατικά δυσαριθμησία (dyscalculia). Η ονομασία έχει παγιωθεί μεταξύ των ερευνητών και επαγγελματιών στους χώρους της ιατρικής, της νευροψυχολογίας και της εκπαίδευσης μολονότι στα διαγνωστικά εργαλεία δεν γίνεται πουθενά λόγος για δυσαριθμησία (Kucian & von Aster, 2015). Συγκεκριμένα, το αμερικανικό DSM-V στην επιμέρους κατηγορία Ειδική Μαθησιακή Διαταραχή (Specific Learning Disorder) κάνει λόγο για βλάβη στα μαθηματικά (impairment in mathematics), ενώ το ευρωπαϊκό ICD-10 ονομάζει την ίδια μαθησιακή δυσκολία ως Ειδική Διαταραχή των Αριθμητικών Δεξιοτήτων (Specific Disorder of Arithmetical Skills). Μία διόρθωση που επέφερε η ορολογία των διαγνωστικών εργαλείων στη γενική ονομασία της μαθησιακής δυσκολίας είναι ο επιθετικός προσδιορισμός «Αναπτυξιακή» (Developmental). Ο όρος Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία ακολουθείται στην εργασία αυτή.

Το γεγονός ότι η δυσαριθμησία προσδιορίζεται ως αναπτυξιακή οφείλεται σε δύο λόγους: πρώτον, για να υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ ειδικής και γενικής μαθησιακής δυσκολίας (Kucian & von Aster, 2015). Με άλλα λόγια, πολλοί μαθητές και μαθήτριες αντιμετωπίζουν προβλήματα και χαμηλές επιδόσεις στο μάθημα των

μαθηματικών. Δεν μπορούμε όμως σε καμία περίπτωση να μιλήσουμε για ειδική μαθησιακή δυσκολία (Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία) αν δεν πληρούνται ορισμένα βασικά κριτήρια διάγνωσης. Δεύτερον, σε περιπτώσεις Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας η έμφυτη αίσθηση του αριθμού, η οποία ενεργοποιείται από την βρεφική ηλικία, είναι εξ αρχής ελλειμματική καθιστώντας το βρέφος δυσλειτουργικό στις πρώιμες συγκρίσεις μεγεθών (Feigenson, Dehaene, & Spelke, 2004; Kucian & von Aster, 2015). Υπολογίζεται περίπου ότι 3-6% των παιδιών εμφανίζει Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία (Kaufmann & von Aster, 2012).

2.2 Χαρακτηριστικά παιδιών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία

Είναι γεγονός ότι η Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία συνήθως συνυπάρχει με άλλες μαθησιακές δυσκολίες (Πολυχρόνη, 2011). Παιδιά με δυσλεξία αντιμετωπίζουν δυσκολίες στα μαθηματικά, γεγονός που προεξοφλεί αυξημένη συννοσηρότητα. Ωστόσο, για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία έχουν αναπτυχθεί συγκεκριμένα βασικά χαρακτηριστικά. Θα μπορούσαμε να επισημάνουμε μεταξύ άλλων:

- διαταραχές στην οπτικοχωρική αντίληψη και οργάνωση
- περιορισμένη αναγνωστική κατανόηση
- διαταραχές στον οπτικοκινητικό συντονισμό
- καλές ακουστικο-φωνητικές ικανότητες και πρώιμη ομιλία
- αντίληψη διαταραγμένης εικόνας του σώματος
- δυσκολία στην αντίληψη των συναισθημάτων των άλλων και μειωμένη ικανότητα για εκτίμηση κοινωνικών καταστάσεων
- καλύτερες επιδόσεις στα λεκτικά μέρη των δοκιμασιών συγκριτικά με τα μη λεκτικά (Βακάλης & Σιβρή, 2008).

Όσον αφορά στην αντίληψη διαταραγμένης εικόνας του σώματος, το παιδί από τη βρεφική του ακόμη ηλικία αντιμετωπίζει σοβαρότατο έλλειμμα στο να ξεχωρίσει τις ποσότητες και τα μεγέθη των άκρων του ώστε να προβεί σε λογικές δοκιμασίες (Βακάλης & Σιβρή, 2008). Με απλά λόγια, ένα βρέφος με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία μπορεί να αντιλαμβάνεται ότι με τα χέρια του μπορεί να σηκώσει ένα βαρύ έπιπλο. Αντιστρόφως, ένα μεγαλύτερο παιδί με την ίδια διαταραχή αδυνατεί να συνειδητοποιήσει ότι ένα μικρό κομμάτι παζλ μπορεί να συμπληρώσει τα διπλανά

ομοιόμορφα κομμάτια, θεωρώντας το υπέρμετρα μεγαλύτερο. Γίνεται λοιπόν σαφής η πλήρης αδυναμία αντιστοιχίας μεγεθών και ποσοτήτων στα παιδιά με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία.

Ειδικότερα, όσον αφορά στα ελλείμματα στα μαθηματικά γίνεται διάκριση ανάμεσα σε πρωτογενείς και δευτερογενείς διαταραχές:

- Πρωτογενείς αριθμητικές διαταραχές
 1. Βλάβες συμβόλων
 - a. Διαταραχές στα σύμβολα των αριθμών
 - b. Διαταραχές στην αναγνώριση των συμβόλων των πράξεων
 2. Διαταραχές στην τοποθέτηση των αριθμών
 - a. Δυσκολία στη γραφή και αναγνώριση πολυψήφων αριθμών
 - b. Δυσκολία στη σωστή τοποθέτηση των αριθμών προκειμένου να εκτελεστούν αριθμητικές πράξεις
- Δευτερογενείς αριθμητικές διαταραχές (διαταραχές λόγω ελλειμμάτων στη μνήμη, αρνητισμό και ελλείμματα στη συγκέντρωση και την προσοχή (Price & Ansari, 2013)).

2.3 Θεωρίες σχετικά με την προέλευση της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας

Η προέλευση των ελλειμμάτων της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας είναι αδιαμφισβήτητα πλέον αντικείμενο μελέτης της νευροψυχολογίας (De Visscher, Szmalec, van der Linden, & Noël, 2015). Την τελευταία δεκαετία έχουν διατυπωθεί διαφορετικές υποθέσεις για το προφίλ της. Αν και οι νευροαπεικονιστικές μέθοδοι έχουν συμβάλλει καθοριστικά προς αυτό το σκοπό, εντούτοις διαπιστώνεται ότι το προφίλ της αναπτυξιακής δυσαριθμησίας χαρακτηρίζεται από ετερογένεια. Με άλλα λόγια, οι διαφορετικές υποθέσεις σχετικά με την φύση και τις αιτίες δείχνουν να επιβεβαιώνονται, μολονότι η μία υπόθεση ενδέχεται να αναιρεί ή να επικαιροποιεί την άλλη. Η ετερογένεια ως προς την αιτιοπαθολογία είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό αυτής της ειδικής μαθησιακής δυσκολίας (Rubinsten & Henik, 2009; Wilson & Dehaene, 2007).

Η ετερογένεια του προφίλ της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας καθιστά δύσκολο τον προσδιορισμό των αιτίων. Θεωρείται δεδομένο ότι η γενετική προδιάθεση, οι περιγεννητικές επιπλοκές και η συνύπαρξη νευροαναπτυξιακών διαταραχών (σύνδρομο Down, αυτισμός) είναι συνθήκες οι οποίες προδικάζουν υψηλή πιθανότητα εμφάνισης δυσκολιών στις αριθμητικές δεξιότητες. Τα παιδιά αυτά αντιμετωπίζουν δυσκολίες σε δεξιότητες υπολογισμού, επεξεργασία μεγεθών και δεξιοτήτων αποκωδικοποίησης μεταξύ λέξεων, ψηφίων και ποσοτήτων (Ashkenazi, Rosenberg-Lee, Metcalfe, Swigart, & Menon, 2013).

Πέρα από την ανομοιογένεια που χαρακτηρίζει τον πληθυσμό ατόμων με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία και η οποία αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό των ειδικών μαθησιακών δυσκολιών, δύο σύγχρονες ερευνητικές κατευθύνσεις, η ψυχοεκπαιδευτική και η νευροαπεικονιστική, έχουν συνεισφέρει στον προσδιορισμό των αιτίων της. Η ψυχοεκπαιδευτική έρευνα προσπαθεί να συγκεντρώσει τα επιμέρους ελλείμματα στο πλαίσιο ενός γενικότερου γνωστικού ελλείμματος, ενώ οι νευροαπεικονιστικές μέθοδοι έχουν φέρει στο φως στοιχεία για τις περιοχές του ανθρώπινου εγκεφάλου που υπολειπούνται ή δυσλειτουργούν στα άτομα με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Επί του παρόντος, θα παρουσιαστούν ορισμένες υποθέσεις και των δύο κατευθύνσεων.

2.3.1 Υποθέσεις γνωστικού ελλείμματος

Μια θεωρία που ξεκίνησε ήδη από τον προηγούμενη χιλιετία (Wynn, 1992) για να ερμηνεύσει την αιτία της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας βασίστηκε στην υπόθεση ότι η εκμάθηση της σειριακής τάξης είναι ελλειμματική (serial-order learning impairment) (De Visscher et al., 2015). Λέγοντας σειριακή τάξη εννοείται η προφορική αλληλουχία αριθμών ή μεγεθών από το μικρότερο προς το μεγαλύτερο. Η σειριακή τάξη είναι ένα είδος γνώσης που αποκτούν τα παιδιά στην ηλικία των 2-3 ετών και στηρίζεται στην από στήθους αρίθμηση από το 1 έως το 10 ή και παραπάνω χωρίς παύση (Previtali, de Hevia, & Girelli, 2010). Η γνώση αυτή προϋποθέτει απλή απομνημόνευση των λέξεων των αριθμητικών ψηφίων (ένα, δύο, τρία, κτλ.) χωρίς αναγκαστικά να χρειάζεται αντίληψη του σημαινομένου, δηλαδή ότι η λέξη ένα αντιπροσωπεύει ένα αριθμητικό (αραβικό) ψηφίο (1, 2, 3, κτλ.). Η διαδικασία αυτή κρίνεται σημαντική για την εκμάθηση των φυσικών αριθμών και των δεξιοτήτων

αρίθμησης (Wynn, 1992). Συνεπώς, με βάση τη θεωρία αυτή το έλλειμμα που εντοπίζεται στην εκμάθηση της σειριακής τάξης δύναται να εμποδίσει τα παιδιά με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία να κατανοήσουν τη γνώση της αριθμογραμμής και επομένως να δυσχεράνει την απόκτηση των βασικών δεξιοτήτων αρίθμησης (De Visscher et al., 2015).

Με τη θεωρία του ελλείμματος στην εκμάθηση της σειριακής τάξης εξηγείται η αποτυχία στην επεξεργασία μεγεθών (De Visscher et al., 2015). Τη στιγμή που το παιδί με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία αδυνατεί να αποστηθίσει την αριθμογραμμή και κυρίως να αντιληφθεί την αριθμητική κλίμακα από το μικρότερο στο μεγαλύτερο, είναι εξαιρετικό δύσκολο να επεξεργαστεί μεγέθη λόγω αδυναμίας συγκριτικής αντίληψης (De Visscher et al., 2015; Le Corre & Carey, 2007). Η δυσκολία αυτή συνιστά μείζον εμπόδιο στην ευρύτερη μαθηματική γνώση και ανάπτυξη, η οποία αναφέρεται στην αναπαράσταση και επεξεργασία μεγεθών (Rouselle & Noel, 2007).

Η γνωστική διεργασία της μνήμης παίζει αποφασιστικό ρόλο της εκμάθησης της νέας γνώσης. Η συνήθης διάρθρωση που γίνεται για να διακρίνονται τα επίπεδα μνήμης είναι η βραχύχρονη μνήμη (μνήμη εργασίας) και η μακρόχρονη μνήμη. Μία πληροφορία που λαμβάνεται από το εξωτερικό περιβάλλον αποθηκεύεται για λίγα δευτερόλεπτα στη μνήμη εργασίας (Σαμαρτζή, 1995). Σε περίπτωση που επικεντρωθεί η προσοχή σε αυτήν την πληροφορία με σκοπό την καλύτερη κατανόηση και εμπέδωση της πληροφορίας αυτής, η ίδια πληροφορία μετακινείται στη μακρόχρονη μνήμη που αποτελεί τον αποθηκευτικό χώρο πληροφοριών του εγκεφάλου (Σαμαρτζή, 1995).

Στη μνήμη βασίστηκε η επόμενη θεωρία για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Συγκεκριμένα, σχετίζεται με τη θεωρία της παρεμβολής σύμφωνα με την οποία υπάρχει αρνητική αλληλεπίδραση μεταξύ υπαρχουσών και νεοαποκτηθεισών πληροφοριών όταν η ανάκληση μιας υπάρχουσας πληροφορίας εμποδίζει την εμπέδωση (αποθήκευση στην μακρόχρονη μνήμη) μιας νέας πληροφορίας. Αυτό συμβαίνει συνήθως όταν παλαιές και νέες πληροφορίες έχουν κοινά χαρακτηριστικά, γεγονός που δεν τις διαφοροποιεί οδηγώντας την βραχύχρονη μνήμη να ανακαλέσει από τη μακρόχρονη τις σχετικά όμοιες πληροφορίες, γεγονός που με τη σειρά του οδηγεί στην αδυναμία εμπέδωσης των νέων πληροφοριών (προδρομική παρεμβολή). Με άλλα λόγια, παρεμφερείς μνήμες ανακαλούνται και παρεμβάλλονται εμποδίζοντας την αποθήκευση νέων πληροφοριών στη μακρόχρονη μνήμη.

Η υπερευαισθησία στην παρεμβολή (Hypersensitivity-to-Interference) έχει προταθεί ως μία βασική θεωρία ερμηνείας των αιτίων της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας (De Visscher & Noel, 2013). Συγκεκριμένα, οι De Visscher και συν. (2015) υπέθεσαν ότι παιδιά με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία αντιμετώπιζαν έντονα την παρεμβολή προηγούμενων πληροφοριών και επομένως, αδυνατούσαν να αποθηκεύσουν νέες πληροφορίες. Για να ελέγξουν οι ερευνητές την υπόθεσή τους έθεσαν σε μαθητές απλές πράξεις πολλαπλασιασμού για να διαπιστώσουν αν είχαν απομνημονεύσει την προπαίδεια. Φάνηκε ότι οι μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία δυσκολεύονταν αρκετά με την ανάσυρση των πινάκων της προπαίδειας όταν τίθεντο πολλαπλασιασμοί διψήφιων αριθμών. Παρατηρήθηκε ότι οι μαθητές αποτύγχαναν όταν καλούνταν να κάνουν επιμέρους πολλαπλασιασμούς συγχέοντας την προπαίδεια ενός αριθμού με την αντίστοιχη του προηγούμενου που είχαν ανασύρει από τη μνήμη τους. Επίσης, οι μαθητές είχαν την τάση να εξάγουν ευκολότερα και συχνότερα τα γινόμενα από σχετικά εύκολους πολλαπλασιαστές, όπως το 1 ή το 2 (De Visscher et al., 2015). Υποστήριζαν εν τέλει την υπόθεση ότι οι μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία τείνουν να είναι περισσότερο επιρρεπείς στην παρεμβολή συγκριτικά με τους μαθητές τυπικής ανάπτυξης (De Visscher et al., 2015).

Σχετική με την πρώτη υπόθεση για τις αιτίες της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας είναι η υπόθεση του ελλείμματος πρόσβασης (Access Deficit Hypothesis). Σύμφωνα με αυτή τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία οφείλονται στην ελλειμματική πρόσβαση στην μαθηματική πληροφορία που προέρχεται από σύμβολα (Skagerlund & Träff, 2016). Με άλλα λόγια, προκύπτουν δυσχέρειες κατά την αποκωδικοποίηση της πληροφορίας που έχει τη μορφή αριθμητικού συμβόλου. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ικανότητα ενός μαθητή με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία να συνδέει την μαθηματική πληροφορία υπό μορφή συμβόλου, ψηφίου με την εικονική ή και λεκτική αναπαράσταση της πληροφορίας αυτής δεν έχει αναπτυχθεί επαρκώς (Wilson & Dehaene, 2007). Σε πρόσφατη έρευνα των Skagerlund και Träff (2016) επιβεβαιώθηκε η παραπάνω υπόθεση σε ομάδα παιδιών με ελλείμματα στην εκτέλεση αριθμητικών πράξεων.

Όμως, ποια μπορεί να είναι η συμβολή αυτών των γνωστικών θεωριών περί προέλευσης της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας στην άμβλυνση των ελλειμμάτων της με τη βοήθεια της υποστηρικτικής τεχνολογίας και των λογισμικών; Εκ πρώτης όψεως, θα μπορούσε να τεθεί ως βασικό επιχείρημα το εξής: προαπαίτηση της διεξοδικής

αντιμετώπισης των μαθηματικών ελλειμμάτων αποτελεί η λεπτομερής περιγραφή τους, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη θεωρητικής μελέτης της προέλευσης της διαταραχής αυτής. Ωστόσο, σημαντικότερο τείνει να γίνει το επιχείρημα που αφορά στην αναζήτηση της σκέψης και ανάλυσης που προηγήθηκε για την κατασκευή λογισμικών προγραμμάτων. Σχεδόν τα περισσότερα προγράμματα έχουν λάβει σοβαρά υπόψη τους τις γνωστικές υποθέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω κατά την προεργασία και τη σχεδίαση τους και επίσης, το εκπαιδευτικό περιεχόμενο των λογισμικών αυτών βασίζεται στις γνωστικές παραδοχές περί ελλειμμάτων στη μνήμη (Fessakis, Gouli, & Mavroudi, 2013). Εν ολίγοις, αποτελεί σημαντική συνεισφορά στο σχεδιασμό και την αποτελεσματικότητα των νέων προγραμμάτων η εμπειριστατωμένη καταγραφή των πιθανών αιτιών της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας.

2.3.2 Ευρήματα από τη νευροαπεικόνιση

Θα ήταν σοβαρή αμέλεια να παραθεωρηθούν τα στοιχεία που έχουν προσφέρει οι μέθοδοι της νευροαπεικόνισης (κυρίως της λειτουργικής μαγνητικής τομογραφίας-fMRI) στη διερεύνηση των αιτιών/προέλευσης της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας. Τα τελευταία χρόνια γίνεται πολύ σοβαρή έρευνα στη χαρτογράφηση των περιοχών εκείνων του εγκεφαλικού φλοιού που δραστηριοποιούνται για την επιτέλεση αριθμητικών διαδικασιών (Attout, Salmon, & Majerus, 2015; Rosenberg-Lee et al., 2015; Rubinsten, 2015). Έχει βρεθεί ότι η περιοχή που σχετίζεται κατά κόρον με την επεξεργασία αριθμητικών πληροφοριών είναι η έσω βρεγματική αύλακα (Kesler et al., 2004; Kucian et al., 2011a; Molko et al., 2003; Mussolin et al., 2010; Price, Holloway, Rasanen, Vesterinen & Ansari, 2007 στο Rosenberg-Lee et al., 2015). Σε περιπτώσεις ατόμων με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία η περιοχή αυτή είτε υπολειτουργεί (χαμηλή συνδεσιμότητα) είτε υπερλειτουργεί (υψηλή συνδεσιμότητα) (Rosenberg-Lee et al., 2015). Ωστόσο, άλλες περιοχές που ευθύνονται για τα ελλείμματα αυτής της μαθησιακής δυσκολίας είναι: όσον αφορά την πράξη της πρόσθεσης ο ιππόκαμπος, η αριστερή ανώτερη κροταφική έλικα και η δεξιά πρόσθια μεσοκροταφική έλικα (Attout, Salmon, & Majerus, 2015). Όσον αφορά στην πράξη της αφαίρεσης, η αριστερή πρόσθια έσω βρεγματική αύλακα, η υπερχειλία έλικα και η αριστερή μετωπική έλικα (Attout, Salmon, & Majerus, 2015; Rosenberg-Lee et al., 2015).

Έχουν παρατηρηθεί κι άλλες εγκεφαλικές δομές οι οποίες με τη σειρά τους παρουσιάζουν είτε χαμηλή είτε υψηλή συνδεσιμότητα στην Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία, όπως η νήσος, ο θάλαμος, η παρεγκεφαλίδα και τα βασικά γάγγλια (Rosenberg-Lee et al., 2015). Οι δομές αυτές σχετίζονται αφενός με το συντονισμό των κινητικών και αισθητικών μυών και αφετέρου με την οπτικοχωρική αντίληψη (Attout, Salmon, & Majerus, 2015). Η περίπτωση της μνήμης εργασίας σχετικά με μαθηματικές έννοιες είναι μία εξαιρετικά πολύπλοκη εγκεφαλική διαδικασία στην οποία εμπλέκονται πολλές περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού καθώς και δομές. Ακόμη, για την περίπτωση της επίλυσης προβλημάτων έχει βρεθεί ότι ένα μεγάλο τμήμα του εγκεφάλου δραστηριοποιείται ώστε να ανταποκριθεί στις σχετικές διαδικασίες (Rubinsten, 2015). Ωστόσο, θα ήταν ακόμη πιο ενδιαφέρον αν εντοπίζονταν οι δομές εκείνες οι οποίες ευθύνονται για τα γνωστικά ελλείμματα της μαθησιακής δυσκολίας έτσι ώστε να προσφερόταν σε ένα ενιαίο πλαίσιο μία τεκμηριωμένη επιστημονική θεωρία περί της προέλευσης των ελλειμμάτων (Rubinsten, 2015). Σε τελική ανάλυση, μένει οι υποθέσεις γνωστικού ελλείμματος να επιβεβαιωθούν ή να απορριφθούν βάσει στοχευμένων νευροαπεικονιστικών ευρημάτων.

3. Χρήση των εκπαιδευτικών λογισμικών σε μαθητές με δυσκολίες στα Μαθηματικά

3.1 Τα εκπαιδευτικά λογισμικά στην εκπαιδευτική διαδικασία

Η ηλεκτρονική μάθηση αποτελεί μία μορφή μάθησης με πολλά οφέλη για τις περιπτώσεις μαθητών και μαθητριών με μαθησιακές δυσκολίες. Η ξεχωριστή αλληλόδραση χρήστη-ηλεκτρονικού υπολογιστή, η οπτικοακουστική διδασκαλία και η πρωτότυπη παρουσίαση του εκπαιδευτικού προϊόντος είναι μεταξύ των χαρακτηριστικών που προσδίδουν την ιδιαίτερα προνομιακή θέση της ηλεκτρονικής μάθησης στην εκπαίδευση (Clements & Gullo, 1984). Άλλωστε, δεν είναι τυχαίο ότι σε μεγάλο αριθμό εκπαιδευτικών ερευνών έχει βρεθεί ότι η διδασκαλία που συμπεριλαμβάνει μεθόδους ηλεκτρονικής μάθησης μόνον θετικά στοιχεία έχει να προσφέρει (Fessakis, Gouli, & Mavroudi, 2013). Προς αποφυγή παρερμηνειών, ο όρος ηλεκτρονική μάθηση χρησιμοποιείται με τη γενική του σημασία, δηλαδή την εκπαιδευτική διαδικασία στην οποία εκτός από τη δυαδική σχέση εκπαιδευτή-εκπαιδευόμενου, εμπλέκεται και ο ηλεκτρονικός υπολογιστής ή άλλο ηλεκτρονικό μέσο.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνονται σε αυτόν το γενικό ορισμό. Οι πιο ειδικές προεκτάσεις της ηλεκτρονικής μάθησης μπορούν να αναζητηθούν κυρίως στο λιτό και απλουστευμένο λεξιλόγιο, τη χρήση συμβόλων που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες εντολές για τον υπολογιστή, την άμεση εκτέλεση των εντολών αυτών και την άμεση σύνδεση του διδασκόμενου μαθησιακού προϊόντος με την αξιολόγησή του (Fessakis, Gouli, & Mavroudi, 2013). Αυτοί είναι οι ουσιαστικοί λόγοι που καθιστούν τη μάθηση μέσω υπολογιστή θελκτική για τους μαθητές. Επίσης, θα πρέπει να τονιστεί ότι η ευχρηστία με την οποία προσφέρεται ένα μαθησιακό προϊόν μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι ακόμη ένα σημαντικό χαρακτηριστικό. Σε κάθε περίπτωση, οι Clements και Gullo (1984) βρήκαν ότι στην πλειοψηφία των δημοσιευμένων ερευνών που περιλάμβαναν εκπαιδευτικές παρεμβάσεις με ηλεκτρονικά μέσα δεν είχε παρατηρηθεί κανένα αρνητικό αποτέλεσμα που να σχετίζεται με το μαθησιακό δυναμικό των μαθητών μετά την εφαρμογή της παρέμβασης.

Η διδασκαλία υποβοηθούμενη από ηλεκτρονικό υπολογιστή επεκτείνεται στα όρια της εποικοδομιστικής προσέγγισης (constructivist approach) (Felicia, Sharif, Wong, & Marriappan, 2014). Στη θεωρία του Εποικοδομισμού (Constructivism), η μάθηση ορίζεται ως μια υποκειμενική και εσωτερική διαδικασία οικοδόμησης νοημάτων και θεωρείται ως το αποτέλεσμα οργάνωσης και προσαρμογής των νέων πληροφοριών στις ήδη υπάρχουσες γνώσεις (Felicia et al., 2014). Η μάθηση είναι μια ενεργή διαδικασία μέσα στην οποία η έννοια δημιουργείται στη βάση της εμπειρίας, ενώ η γνώση κατασκευάζεται μέσα από την εμπειρία (Μακρή-Μπότσαρη, 2006). Ειδικότερα, η εποικοδομιστική προσέγγιση χαρακτηρίζεται από τη μέθοδο διδασκαλίας στην οποία α) η έδρα ελέγχου (locus of control) βρίσκεται στην πλευρά του μαθητή και β) ο μαθητής καθίσταται περισσότερο ενεργά εμπλεκόμενος στη διδακτική διαδικασία (Polat, 2011; Sparkes, Thomas, Jackson, & Alexander, 2012). Επεξηγώντας τα παραπάνω, εννοείται ότι στην πρώτη περίπτωση ο μαθητής εμπλέκεται και μπορεί να τροποποιήσει τις διδακτικές δραστηριότητες και στη δεύτερη περίπτωση η ενεργός εμπλοκή επιτυγχάνεται μέσω διαδραστικών ασκήσεων, δυνατότητας αλληλόδρασης, ερωταπαντήσεις και αυτοαξιολόγηση.

Συνήθως, σε διδασκαλίες στις οποίες παρεμβάλλεται κάποιο μέσο πλην της άμεσης διδασκαλίας χρειάζεται οι μαθητές να εκπαιδευτούν στη χρήση (χειραγώγηση) του μέσου αυτού ώστε να είναι αποτελεσματική η διδασκαλία (Schunk, 2010). Χαρακτηριστικά, στις διδασκαλίες με χρήση παιχνιδιού είναι σημαντικό όλοι οι εμπλεκόμενοι μαθητές να έχουν κατανοήσει πλήρως τους κανόνες του παιχνιδιού καθώς και τους σκοπούς του ώστε να μιλήσουμε για σωστή εφαρμογή της διδασκαλίας. Κάτι τέτοιο θέτει σε σκέψεις τον διδάσκοντα ως προς την καταλληλότητα της συγκεκριμένης διδασκαλίας αφού προκύπτουν διχογνωμίες σχετικά με τις αλληπάλληλες διδασκαλίες (διδασκαλία παιχνιδιού, κύρια διδασκαλία). Στην περίπτωση της διδασκαλίας υποβοηθούμενης από ηλεκτρονικό υπολογιστή τα αποτελέσματα ερευνών έχουν δείξει ότι οι μαθητές με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες δεν αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα με τη χρήση του υπολογιστή και ταυτόχρονα, από την μεριά των εκπαιδευτών ο χρόνος διδασκαλίας της χρήσης του υπολογιστή ή του λογισμικού μειώνεται στο ελάχιστο (Bryant & Bryant 2011; Geary, 2004; Murphy et al., 2007).

Ωστόσο, πέρα από τη φαινομενική ευκολία με την οποία οι μαθητές με μαθησιακές δυσκολίες προσεγγίζουν τα λογισμικά, τα προγράμματα αυτά θα πρέπει να

είναι εμπεριστατωμένα, στοχοκατευθυνόμενα και επί της ουσίας εύχρηστα (Felicia et al., 2014). Έχοντας υπόψη αυτή την παράμετρο, οι σχεδιαστές των λογισμικών θα πρέπει να συμμερίζονται τις ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες των μαθητών. Μερικές από αυτές είναι ο βραδύτερος ρυθμός της γενικότερης ανάπτυξης, τα επιμέρους ελλείμματα στη γνωστική ανάπτυξη καθώς και η ασυνέπεια μεταξύ των πεδίων αντίληψης (οπτικοχωρική, λεκτική, συναισθηματική, κ.ά.) (Arhipova & Sergeeva, 2015). Κυρίως, σε περιπτώσεις μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία το χάσμα μεταξύ οπτικοχωρικής και λεκτικής αντίληψης είναι μεγάλο (Βακάλης & Σιβρή, 2008). Είναι επόμενο λοιπόν ότι τα λογισμικά που στοχεύουν στην άμβλυνση των μαθησιακών ελλειμμάτων θα πρέπει να σχεδιάζονται υπό αυστηρές προϋποθέσεις.

Τα αποτελέσματα των ερευνών σχετικά με το φιλικό προς χρήση υπολογιστικό περιβάλλον των λογισμικών δείχνουν να επαληθεύονται στον αγγλοσαξωνικό χώρο. Σύγχρονες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε άλλες χώρες έδειξαν το αντίθετο (Arhipova & Sergeeva, 2015: Polat, 2011; Wong, Li, Choi, & Lee, 2008). Συγκεκριμένα, στην έρευνα των Arhipova και Sergeeva (2015) οι μαθητές με μαθησιακές δυσκολίες είχαν εξαιρετικά χαμηλό ποσοστό επάρκειας χρήσης του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ενδιαφέρον είναι και το εύρημα σχετικά με τους εκπαιδευτές οι οποίοι επίσης δεν κατείχαν αξιοσημείωτο επίπεδο επάρκειας. Παραπλήσια αποτελέσματα έδειξε και η έρευνα των Wong και συν. (2008) σε δείγμα μαθητών με μαθησιακές δυσκολίες.

Στο διάστημα των τριάντα ετών μετά τη δημοσίευση της μετα-ανάλυσης των Clements και Gullo (1984) η ανάπτυξη των προγραμμάτων ηλεκτρονικής μάθησης και των εκπαιδευτικών λογισμικών υπήρξε ραγδαία. Όσον αφορά στις μαθησιακές δυσκολίες τόσο τα εκπαιδευτικά λογισμικά όσο και οι έρευνες που τα χρησιμοποιούσαν ως εργαλεία πολλαπλασιάστηκαν. Είναι εύλογο άλλωστε αν αναλογιστεί κανείς πόσο εντυπωσιακά ήταν τα αποτελέσματα των παλαιότερων σχετικών μελετών (Cordes & Miller, 2000). Πλέον, ξεκίνησαν προσπάθειες ποιοτικής αναβάθμισης του εκπαιδευτικού προϊόντος που προσφερόταν μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, γεγονός που αύξησε τα θετικά αποτελέσματα των παρεμβάσεων. Ακόμη, οι κατασκευαστές αυτών των εκπαιδευτικών προγραμμάτων φρόντισαν να καλύψουν όλο το φάσμα της διδασκόμενης σχολικής ύλης. Αυτό σηματοδότησε πέραν των γλωσσικών μαθημάτων την ενασχόληση με τα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες.

3.2 Συμβολή των εκπαιδευτικών λογισμικών στην Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία

Είναι γεγονός ότι τα ηλεκτρονικά προγράμματα με αντικείμενο την ύλη των μαθηματικών κατασκευάστηκαν σε μεταγενέστερο χρόνο συγκριτικά με προγράμματα γλωσσικών μαθημάτων (Sarama & Clements, 2009). Οι λόγοι αυτής της καθυστέρησης δεν είναι σαφείς, αν και εμπειρικά έχει βρεθεί ότι επιλεκτική προτεραιότητα των ειδημόνων της εκπαίδευσης ήταν και συνεχίζει να είναι η γλωσσική γνώση (Sarama & Clements, 2009; Fessakis, Gouli, Mavroudi, 2013). Ένα τέτοιο συμπέρασμα είναι τρωτό αφού η ζωτική σημασία της εκμάθησης της μαθηματικής γνώσης είναι επιστημονικά τεκμηριωμένη και καθιερωμένη από τα Αναλυτικά Προγράμματα (University of Chicago School Mathematics Project, 2005). Μία συμβατική ερμηνεία θα μπορούσε να είναι ότι η καθυστερημένη ενασχόληση με την κατασκευή λογισμικών για τα Μαθηματικά οφείλεται στην επίσης καθυστερημένη ενασχόληση των ερευνητών με τις δυσκολίες των μαθητών στα Μαθηματικά και την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία (Baroody, Eiland, Purpura, & Reid, 2013).

Η υποστηρικτική τεχνολογία μπορεί να προσφέρει μία ποικιλία εξατομικευμένων διδασκαλιών στα Μαθηματικά που αντιστοιχούν στα ειδικά μαθησιακά χαρακτηριστικά των μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία (Symington & Stranger, 2000). Επίσης, ακόμη και σε τυπικά εκπαιδευτικά πλαίσια (τυπική τάξη) δύναται να προκύψουν θετικά επιτεύγματα και επιτυχίες σε ασκήσεις Μαθηματικών με τη χρήση της τεχνολογίας (Seo & Bryant, 2009; Symington & Stranger, 2000). Όσον αφορά στις εξειδικευμένες διδασκαλίες αυτές έχουν στο σύνολο τους μία κοινή βάση: είναι όλες υποβοηθούμενες από ηλεκτρονικό υπολογιστή ή άλλο ηλεκτρονικό μέσο (Computer-Assisted Instruction-CAI). Η μεσολάβηση του ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι η αφορμή σχεδιασμού πρωτότυπων και δημιουργικών διδασκαλιών με πολυποίκιλες προεκτάσεις όσον αφορά την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Αίσθηση του αριθμού, νοητή αριθμογραμμή, αντίληψη των μεγεθών, στοιχειώδης γεωμετρία, πράξεις και επίλυση προβλημάτων είναι μερικές διαστάσεις της μαθηματικής γνώσης που εμπεριέχονται στις πιο διαδεδομένες διδασκαλίες υποβοηθούμενες από ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Τα εκπαιδευτικά λογισμικά που απευθύνονται σε μαθητές με Ειδικές Μαθησιακές Δυσκολίες και ειδικότερα με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία σχεδιάζονται σύμφωνα με τις παρακάτω προδιαγραφές:

1. το μαθησιακό προϊόν θα πρέπει να παρουσιάζεται στο χρήστη υπό μορφή έργου (task),
2. θα πρέπει να διατίθενται στο χρήστη δόκιμοι και εύχρηστοι τρόποι ανταπόκρισης,
3. ο χρήστης θα πρέπει οπωσδήποτε να λαμβάνει ανατροφοδότηση σχετικά με την ορθότητα ή μη της απάντησής του,
4. ορισμένα εκ των ολοκληρωμένων έργα θα μπορούσαν να «ανεβαίνουν» στο Διαδίκτυο ώστε να δίνεται η ευκαιρία της μέγιστης ανατροφοδότησης και καταξίωσης των ορθών έργων, γεγονός που θα συμβάλει θετικά στην αυτοεικόνα του μαθητή και
5. στην περίπτωση που δίνονται εσφαλμένες απαντήσεις, το σύστημα θα πρέπει να δίνει ειδική ανατροφοδότηση για να περιορίσει την πιθανότητα αστοχίας την επόμενη φορά (Räsänen, Salminen, Wilson, Aunio, & Dehaene, 2009).

Ομολογουμένως, οι προϋποθέσεις αυτές είναι γενικές. Ωστόσο, θα πρέπει να τηρούνται στο έπακρο ώστε να θεωρηθεί το υποψήφιο εκπαιδευτικό λογισμικό ως δυνητικά αποτελεσματικό.

Ως προς την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία ειδικότερα, η χρήση των λογισμικών και της υποστηρικτικής τεχνολογίας έχει σημαντικά πλεονεκτήματα. Μερικά από αυτά είναι τα εξής:

1. η εκμάθηση χρήσης και πλοήγησης υπολογιστικών προγραμμάτων ενδέχεται να ενισχύει την επαγωγική σκέψη, την έννοια της ακολουθίας και τη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων,
2. κινητοποιεί ενεργά τους χρήστες, ειδικά τους μικρούς μαθητές,
3. δίνεται άμεση ανατροφοδότηση,
4. οι εσφαλμένες απαντήσεις των χρηστών μπορούν να διορθώνονται χωρίς να είναι εμφανή τα λάθη,
5. δίνεται σημαντική υποστήριξη στο χρήστη μέσω έργων προγύμνασης (tutorial tasks),
6. οι περισσότεροι υπολογιστές «μιλάνε με το χρήστη», γεγονός που αναιρεί τα εμπόδια που προκύπτουν στην περίπτωση που τα λογισμικά είναι ξενόγλωσσα,

7. οι απαντήσεις είναι ταχύτατες, άμεσα διαθέσιμες στο χρήστη,
8. οι χρήστες μπορούν να εργάζονται σύμφωνα με το δικό τους ρυθμό,
9. το υπολογιστικό περιβάλλον είναι συνήθως ευκολότερα προσπελάσιμο από τους μαθητές συγκριτικά με ένα βιβλίο ή το περιβάλλον της τάξης,
10. υπάρχει η δυνατότητα ακρόασης οδηγιών και
11. υπάρχει η δυνατότητα μορφοποίησης του περιβάλλοντος (γραφικά, ήχος) σε περίπτωση που ο χρήστης δυσκολεύεται να ανταποκριθεί (Waiganjo, 2013).

Η σημαντικότερη παράμετρος που εξασφαλίζει τα εν λόγω πλεονεκτήματα αφορά κυρίως στον τρόπο με τον οποίο έχει σχεδιαστεί το κάθε λογισμικό. Η τεχνογνωσία κατασκευής καθώς και οι σκοποί του καθενός είναι πολύ βασικοί δείκτες καταλληλότητας και αποτελεσματικότητας. Κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός εκπαιδευτικού λογισμικού για τα μαθηματικά, ο δημιουργός του θα πρέπει να έχει πάντοτε υπόψη του τα βασικά ελλείμματα της Αναπτυξιακής Δυσαριθμίας καθώς επίσης και τα δυνατά σημεία των μαθητών με αυτή την ειδική μαθησιακή δυσκολία, και με βάση αυτά να αναπτύσσει το περιεχόμενο του λογισμικού. Ένα λογισμικό το οποίο βασίζεται μόνο στη γνωστική ανάπτυξη των τυπικών μαθητών ή τα Αναλυτικά Προγράμματα για τα Μαθηματικά είναι μάλλον ακατάλληλο για μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμία (Felicia et al., 2014).

Έχει προταθεί ένας αριθμός επιχειρημάτων ο οποίος συνηγορεί στην αποτελεσματικότητα των λογισμικών που εξειδικεύονται στις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στα Μαθηματικά. Τα επιχειρήματα αυτά αφορούν και σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμία. Ορισμένα από αυτά συνοψίζονται ως εξής:

1. Η αυτόματη εκτέλεση των αριθμητικών πράξεων από το λογισμικό απαλλάσσει το μαθητή από το γνωστικό φορτίο των υπολογισμών και τον ενισχύει να εμβαθύνει στις στρατηγικές και στη διαδικασία που ακολουθείται (Ruthven & Hennessy, 2002).
2. Το διαδραστικό περιβάλλον του λογισμικού ενθαρρύνει υπό προϋποθέσεις τη συνεργασία των μαθητών (Hudson, 1997).
3. Το υπολογιστικό περιβάλλον δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να αναστοχαστούν σε τυχόν σχέσεις και να αναπτύξουν την αιτιοκρατική μέθοδο (Hennessy, Fung, & Scanlon, 2001).
4. Υποστηρίζεται ότι τα περισσότερα λογισμικά προσφέρουν οφέλη στην ερμηνεία πινάκων και γραφημάτων (Hennessy, 2000).

5. Τα λογισμικά που διανθίζονται με έργα ή παιχνίδια που σχετίζονται με την άλγεβρα δύνανται να προσφέρουν ποικιλία στρατηγικών επίλυσης μαθηματικών προβλημάτων, καθώς και των σχετικών βοηθημάτων τους (Hennessy, Fung, & Scanlon, 2001).
6. Τα λογισμικά που διανθίζονται με έργα ή παιχνίδια που σχετίζονται με τη γεωμετρία διευκολύνουν τους μαθητές στην καλύτερη αντίληψη των σχημάτων και των μεγεθών (Clements, 2000). Χαρακτηριστικά, ενισχύεται ακόμη και η αντίληψη του βάθους σε λογισμικά που προσφέρουν τρισδιάστατες απεικονίσεις γεωμετρικών στερεών (Hennessy, 2000).
7. Η επιβράβευση από την επιτυχία διεκπεραίωσης ενός έργου (συλλογή πόντων, αναβάθμιση πίστας, κ.ά.) πιστεύεται ότι βοηθάει πολύ το μαθητή να κατανοήσει την αύξουσα αριθμογραμμή και την πρόσθεση. Αντιστρόφως, η απώλεια επιβραβεύσεων συνεισφέρει θετικά στην κατανόηση του μηχανισμού της αφαίρεσης (Jarrett, 1998).

Ωστόσο, το σημαντικότερο επιχείρημα υπέρ της χρήσης των λογισμικών από παιδιά με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία είναι το υψηλό επίπεδο κινητοποίησης προς μάθηση (de Castro, Bissaco, Pancioni, Rodrigues, & Domingues, 2014; Käser et al., 2013). Είναι εξαιρετικά εμφανής η τάση που υπάρχει σε όλες τις σχετικές έρευνες να θεωρούνται τα λογισμικά ως κίνητρα, ως εφελκυστικά προθυμοποιώντας τους μαθητές να συμμετέχουν στη μαθησιακή διαδικασία με τη θέλησή τους και όχι επειδή η δασκάλα ή ο δάσκαλός τους το υπαγόρευσε. Ακόμη περισσότερο, σε μαθητές με μαθησιακές δυσκολίες η χρήση λογισμικών προτείνονται ως μία πολλά υποσχόμενη εναλλακτική μέθοδος υποστήριξης της διδασκαλίας.

Συνεπώς, η πρόγνωση σχετικά με την αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών λογισμικών των Μαθηματικών θα μπορούσε να υποθέσει κανείς ότι είναι αρκετά καλή (Marino et al., in review). Η υπόθεση αυτή δημιουργεί ερεθίσματα για την κατασκευή τέτοιων προγραμμάτων ειδικά για τους μαθητές που διαγιγνώσκονται με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Προς έκπληξη όμως των περισσότερων εμπλεκόμενων η τεχνολογία και οι ειδήμονες που ασχολούνται με την κατασκευή αυτών των λογισμικών δεν έχει προσφέρει μέχρι στιγμής μεγάλη ποικιλία. Είναι γεγονός ότι υπάρχουν ελάχιστα λογισμικά εξειδικευμένα στην αποκατάσταση της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας (Käser et al., 2013; Marino et al., in review). Το ευτύχημα, ωστόσο, είναι ότι τα λίγα αυτά δείγματα, όπως θα αναπτυχθούν αναλυτικά παρακάτω, έχουν αποτελέσει

αντικείμενο ερευνητικών μελετών και έχει αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητά τους. Επιλογικά, η προσεκτική ανασκόπηση των σκοπών και της λειτουργίας αυτών των λογισμικών σε συνδυασμό με την εμπειρική έρευνα θα δώσει νέα στοιχεία για την κατάρτιση των θεωρητικών αξόνων στους οποίους θα πρέπει να κινηθούν οι νέοι ειδήμονες για την κατασκευή μελλοντικών εκπαιδευτικών λογισμικών.

4. Εξειδικευμένα εκπαιδευτικά λογισμικά για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία

Δεν θα ήταν υπερβολή να ισχυριστεί κανείς ότι τα εκπαιδευτικά λογισμικά που στοχεύουν να αμβλύνουν τις δυσκολίες των μαθητών στα Μαθηματικά οφείλουν την ύπαρξή τους στην επιτυχία των αντίστοιχων λογισμικών δυσλεξίας (Skagerlund & Träff, 2016). Το γνωστικό ενδιαφέρον των κατασκευαστών των λογισμικών μετατοπίστηκε με αισθητά βραδύτερους ρυθμούς στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες. Ωστόσο, η προηγούμενη εμπειρία με τη δυσλεξία αποδείχθηκε αρκετά προσοδοφόρα. Είναι γεγονός ότι η πλειοψηφία των λογισμικών που στοχεύουν στην αποκατάσταση της δυσλεξίας είχαν καλά αποτελέσματα και εκπλήρωσαν τους στόχους για τους οποίους κατασκευάστηκαν (Kucian & von Aster, 2015). Επομένως, η ενασχόληση των ιθυνόντων και σχεδιαστών προγραμμάτων με τα Μαθηματικά κρίθηκε ως πολλά υποσχόμενη.

Σε αυτή την καθυστέρηση εμφάνισης των λογισμικών οφείλεται η μικρή διαθεσιμότητα σχετικών με τα Μαθηματικά εκπαιδευτικών λογισμικών. Το εύρος στενεύει ακόμη περισσότερο στην περίπτωση της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας. Στην πραγματικότητα, τα σχετικά διαθέσιμα εκπαιδευτικά λογισμικά είναι μόνο τρία, αν κανείς περιοριστεί αυστηρά στις προδιαγραφές των κατασκευαστών. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα λογισμικά τα οποία απευθύνονται γενικώς σε μαθητές με δυσκολίες στα Μαθηματικά που άτυπα πληρούν τις βασικές προϋποθέσεις για να θεωρούνται κατάλληλα και για περιπτώσεις μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία (Obersteiner, Reiss, & Ufer, 2013; Wilson et al., 2006b). Συνήθως, αυτά τα λογισμικά απευθύνονται σε νηπιακές και σε πρώτες σχολικές ηλικίες όπου ο στόχος των Αναλυτικών Προγραμμάτων των Μαθηματικών πολλές φορές συμπίπτει με το στόχο μιας εκπαιδευτικής παρέμβασης για περιπτώσεις μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Το κεφάλαιο αυτό, όμως, θα περιοριστεί αυστηρά στα τρία εξειδικευμένα εκπαιδευτικά λογισμικά για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία.

4.1 The Number Race

Ουσιαστικά, το εκπαιδευτικό λογισμικό The Number Race είναι το πρώτο δείγμα λογισμικού που κατασκευάστηκε αποκλειστικά για περιπτώσεις μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία (Wilson, Revkin, Cohen, Cohen, & Dehaene, 2006a). Όπως όλα τα προηγούμενα λογισμικά που αφορούσαν στη Δυσλεξία, κι αυτό είναι απότοκο της «ζώνης επικείμενης ανάπτυξης». Με άλλα λόγια, αποτελεί σκαλωσιά (scaffolding), δηλαδή υποστηρικτικό υλικό της διδασκαλίας, για την κατάκτηση του ανώτερου δυνατού επιπέδου γνώσης από τον μαθητή. Έχει σχεδιαστεί ακολουθώντας τα πορίσματα της γνωστικής νευροεπιστήμης για την προέλευση των ελλειμμάτων της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας (Wilson et al., 2006b). Άρα, εκ πρώτης όψεως, θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι το The Number Race είναι ένα «σοβαρό» παιχνίδι (serious game) το οποίο, θεμελιωμένο πάνω σε επιστημονικά κριτήρια, κινητοποιεί τους μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία να «μάθουν Μαθηματικά» (Wilson et al., 2006a).

4.1.1 Συμβατότητα με τα ελλείμματα της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας

Όπως αναφέρθηκε το λογισμικό αυτό έχει κατασκευαστεί ακολουθώντας ορισμένες βασικές προϋποθέσεις οι οποίες το καθιστούν κατάλληλο για περιπτώσεις Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας, έγινε λόγος για τις θεωρίες γνωστικού ελλείμματος που έχουν προταθεί ως οι πλέον επικρατέστερες για την προέλευση της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας. Λαμβάνοντας λοιπόν πολύ σοβαρά αυτές τις θεωρίες της γνωστικής νευροεπιστήμης οι κατασκευαστές του The Number Race στόχευσαν στην αποκατάσταση τεσσάρων θεμελιωδών ελλειμμάτων. Οι στόχοι αυτοί εκφράστηκαν ως εξής:

1. Ενίσχυση της αίσθησης του αριθμού
2. Γεφύρωση του χάσματος μεταξύ των αναπαραστάσεων του αριθμού
3. Συστηματοποίηση και αυτοματοποίηση αριθμητικών διαδικασιών
4. Αύξηση του κινήτρου των μαθητών

Ο βασικότερος στόχος είναι μακράν ο πρώτος, όπως κατέστη σαφές και από τη δεύτερη ενότητα. Η κατάκτηση της αίσθησης του αριθμού είναι το ελάχιστο

προαπαιτούμενο για την ανάπτυξη των βασικών μαθηματικών εννοιών. Ο τρόπος με τον οποίο οι κατασκευαστές προσπαθούν να ενισχύσουν αυτή τη δεξιότητα είναι επιλέγοντας απλές αριθμητικές συγκρίσεις μονοψήφιων αριθμών στα πολύ αρχικά στάδια του παιχνιδιού. Οι συγκρίσεις συνοδεύονται από οπτική αναπαράσταση του αριθμού. Για παράδειγμα, εμφανίζονται στην οθόνη δύο πίνακες στους οποίους δίνονται: στον πρώτο 1 νόμισμα και στον δεύτερο 3 νομίσματα και ο μαθητής καλείται να επιλέξει τα περισσότερα. Η εξοικείωση με τα πρώτα στάδια του παιχνιδιού είναι πολύ σημαντική για τη δημιουργία της σύνδεσης αριθμού και ποσότητας (Wilson et al., 2006b). Η δυσκολία των συγκρίσεων αυξάνεται όσο προχωράει ο μαθητής σε επόμενα στάδια.

Ο δεύτερος στόχος αφορά κυρίως στη δεξιότητα της αποκωδικοποίησης και ταύτισης των αναπαραστάσεων των αριθμών (λεκτική, συμβολική). Σε πρώτη φάση, οι κατασκευαστές έχουν συμπεριλάβει σε όλα τα στάδια ηχητική ενίσχυση (οι οδηγίες δίνονται και γραπτά και προφορικά). Σε δεύτερη φάση, οι μαθητές «θα πρέπει να βασιστούν κατά κόρον στις συμβολικές αναπαραστάσεις για να περάσουν επιτυχώς τα στάδια των αριθμητικών συγκρίσεων» (Wilson et al., 2006b, σελ. 3). Σε τρίτη φάση, μετά την επιλογή του μαθητή δίνεται ηχητικό μήνυμα το οποίο επαναλαμβάνει την κίνηση του μαθητή εξηγώντας το λόγο για τον οποίο η κίνησή του ήταν ορθή ή εσφαλμένη.

Όσον αφορά τον τρίτο στόχο, αυτός εξυπηρετείται σταδιακά μέσω των συγκρίσεων και σε επόμενες φάσεις μέσω της εκτέλεσης απλών πράξεων. Η μεθόδευση παροχής οδηγιών (γραφτά και λεκτικά), η αιτιολόγηση των επιλογών του μαθητή και το διαρκώς επαναλαμβανόμενο μοτίβο των ασκήσεων του λογισμικού είναι τα μέσα με τα οποία ένας μαθητής μπορεί να αυτοματοποιήσει τις διαδικασίες που ακολουθούνται για τη σύγκριση ποσοτήτων και την εκτέλεση αριθμητικών πράξεων. Ο τέταρτος στόχος επιτυγχάνεται αφενός λόγω του ευχάριστου περιβάλλοντος στο οποίο δραστηριοποιείται ο μαθητής, κυρίως των βραχυπρόθεσμων ασκήσεων με καλά γραφικά και ευχάριστους ήχους και αφετέρου της αλληπάλληλης ενίσχυσης του δίδεται λεκτικά στο μαθητή με θετική διατύπωση (Συγχαρητήρια! Συνέχισε έτσι! Πηγαίνεις πολύ καλά!).

4.1.2 Περιγραφή του λογισμικού

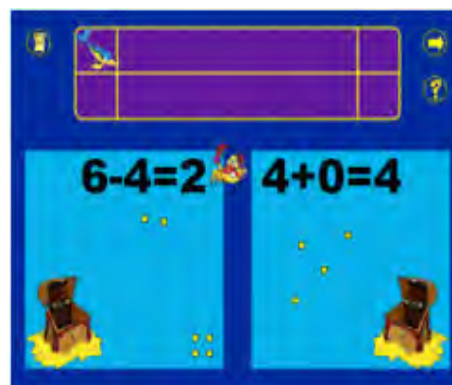
Τρέχοντας το πρόγραμμα η πρώτη εικόνα που αντικρύζει ο χρήστης είναι η καρτέλα στην οποία καταχωρούνται τα στοιχεία του (ονοματεπώνυμο, ηλικία, φύλο, τάξη). Κατά τη πρώτη φορά ο μαθητής ως νέος χρήστης δεν έχει άλλη επιλογή από το να καταχωρήσει αυτά τα στοιχεία. Την ίδια διαδικασία ακολουθούν όλοι οι νέοι χρήστες δημιουργώντας τη δική τους καρτέλα.

Προχωρώντας ο χρήστης καλείται να επιλέξει σε ποιον «κόσμο» θέλει να παίξει. Οι επιλογές του είναι δύο: ο κόσμος της ζούγκλας και ο υδάτινος κόσμος. Και στους δύο κόσμους δίνονται περιγραφικές οδηγίες και στη συνέχεια θα πρέπει ο χρήστης να επιλέξει τον χαρακτήρα («ήρωα») με τον οποίο θα παίξει. Αν ο χρήστης παίξει πρώτη φορά μόνον ένας ήρωας είναι διαθέσιμος (ο πίθηκος Charlie στον κόσμο της ζούγκλας και το δελφίνι Finn στον υδάτινο κόσμο). Οι υπόλοιποι ήρωες «ξεκλειδώνονται» σε περιπτώσεις «νικών» του χρήστη.

Το κυρίως παιχνίδι συνίσταται σε δύο κύριες διαδικασίες: την σύγκριση αριθμητικών μεγεθών και την αντίληψη της αύξουσας σειριακής τάξης. Πιο αναλυτικά, ο χρήστης όντας ο ήρωας που επέλεξε συναγωνίζεται τον εχθρό του (υπολογιστής) σχετικά με το ποιος θα φτάσει πρώτος στο τέλος μιας ακολουθίας. Η ακολουθία αυτή είναι η αριθμογραμμή, αποτελείται από φυσικούς αριθμούς και βρίσκεται στο κάτω μέρος της οθόνης. Η οθόνη εμφανίζει δύο πίνακες αριστερά και δεξιά στους οποίους δίνονται ορισμένες ποσότητες χρυσών «νομισμάτων». Ο χρήστης πρέπει να διαλέγει πάντοτε τη μεγαλύτερη ποσότητα ώστε αντιστοιχώντας τα ένα-ένα στη αριθμογραμμή να φτάσει στο τέλος της. Ο χρήστης παίζει πάντοτε πρώτος και σκοπός του είναι να επιλέξει τον πίνακα στον οποίο δίνονται τα περισσότερα «νομίσματα». Στη συνέχεια, διαλέγει και ο αντίπαλος. Ο αριθμός των νομισμάτων του καθενός αντιστοιχεί στους συμβολικούς αριθμούς της αριθμογραμμής προσθετικά. Για παράδειγμα, επιλέγοντας ο χρήστης τον πίνακα με τρία νομίσματα αντί του πίνακα με το ένα νόμισμα (το οποίο θα επιλέξει ο αντίπαλος δεδομένου ότι δεν έχει άλλη επιλογή), μετακινείται στον αριθμό 3. Στη συνέχεια, επιλέγοντας τον πίνακα με τα δύο νομίσματα έναντι πάλι του αντίστοιχου του αντιπάλου με το ένα νόμισμα, τοποθετείται στον αριθμό 5 κ.ο.κ. μέχρι να φτάσει στο τέλος (αριθμός 12).



Εικόνα 1 Σύγκριση αριθμών (αραβικά σύμβολα)



Εικόνα 2 Σύγκριση μετά από πράξεις

Η πορεία αυτή αντιστοιχεί στο πρώτο επίπεδο, όπου καλλιεργείται ο σύνδεσμος μεταξύ των αναπαραστάσεων ποσοτήτων και αριθμών καθώς και η προσθετική ικανότητα. Σε επόμενα επίπεδα, τίθεται περιορισμός χρόνου (χρονόμετρο) και σε πιο προχωρημένα επίπεδα παρατίθενται προσθέσεις και αφαιρέσεις. Οι πράξεις αρχικά εκτελούνται με ποσότητες και στη συνέχεια με αριθμούς. Σε κάθε περίπτωση, η οδηγία δίνεται ηχητικά και υπάρχει πάντοτε θετική ανατροφοδότηση (επιβράβευση) σε περίπτωση ορθής απάντησης και νύξη για επανεξέταση σε περίπτωση σφάλματος.

Όταν ο χρήστης ολοκληρώσει επιτυχώς το παιχνίδι, δίνεται επιβράβευση (συγχαρητήρια). Στη συνέχεια, στον χρήστη δίνεται η ευκαιρία να απελευθερώσει μία πεταλούδα από τη γυάλα στην οποία είναι φυλακισμένη, πατώντας με τον κέρσορα πάνω σε αυτήν. Με την απελευθέρωση τριών πεταλούδων ο χρήστης «ξεκλειδώνει» τον επόμενο ήρωα. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η πεταλούδες κινούνται μέσα στη γυάλα. Επομένως, ο μαθητής πρέπει να «κλικάρει» την πεταλούδα όντας σε κίνηση. Το έργο αυτό παραπέμπει σε ασκήσεις οπτικοκινητικού συντονισμού, μιας σημαντικής λειτουργίας για την ανάπτυξη των μαθηματικών εννοιών.

Η γενικότερη φιλοσοφία γύρω από το λογισμικό αυτό κινείται μεταξύ τριών διαστάσεων: της απόστασης, της ταχύτητας και της πολυπλοκότητας. Οι διαστάσεις αυτές είναι οι μοχλοί που αυξομειώνουν τη δυσκολία των επιπέδων του λογισμικού. Η διάσταση της απόστασης αυξάνει τη δυσκολία της αριθμητικής σύγκρισης μειώνοντας την αριθμητική απόσταση μεταξύ δύο συγκρινόμενων ποσοτήτων. Για παράδειγμα, στα πρώτα επίπεδα, ο χρήστης καλείται να επιλέξει τον μεγαλύτερο σύνολο μεταξύ του συνόλου του ενός «κέρματος» και του συνόλου των τεσσάρων «κερμάτων». Σε πιο

προχωρημένα επίπεδα, η σύγκριση μεταξύ συνόλων αφορά σε αριθμητικές ποσότητες με τη μικρότερη δυνατή απόσταση μεταξύ τους, όπως οι αριθμοί 24 και 25. Η διάσταση της απόστασης σχεδιάστηκε για να προσαρμόσει την ακρίβεια της ποσοτικής αναπαράστασης που αναμένεται να επιδεικνύουν οι μαθητές και κατ' επέκταση, να ωθήσει τους μαθητές σταδιακά σε περαιτέρω ακρίβεια.

Η διάσταση της ταχύτητας, η οποία απαντάται σε υψηλότερα επίπεδα, έγκειται στην παροχή διορίας κατά την οποία ο μαθητής πρέπει να δώσει την απάντησή του. Σχεδιάστηκε για να αυξήσει την ταχύτητα και την αυτοματοποίηση ποσοτικών αναπαραστάσεων, καθώς και για να επιτρέψει αποτελεσματικότερο υπολογισμό και αιφνίδια μνημονική υπενθύμιση απλών αριθμητικών πράξεων (Wilson et al., 2006b).

Σχετικά με την τρίτη διάσταση οι Wilson και συν. (2006b, σελ. 4-5) αναφέρουν ότι «η εννοιολογική πολυπλοκότητα είναι μία σύνθετη διάσταση που σχεδιάστηκε για να διδάξει προοδευτικά στους μαθητές τα αριθμητικά σύμβολα και τις στοιχειώδεις αριθμητικές πράξεις με παιδαγωγικά μέσα». Η δυσκολία που συνεπάγεται αυτή η πολυπλοκότητα συνίσταται σε δύο βήματα: α) τη σταδιακή απόσυρση μη συμβολικών πληροφοριών και την προοδευτική αντικατάστασή τους με συμβολικές, ώστε οι μαθητές να περνούν πλέον σε ποσοτικές συγκρίσεις φυσικών αριθμών και όχι μη συμβολικών αναπαραστάσεών τους και β) την εισαγωγή πράξεων πρόσθεσης και αφαίρεσης σε υψηλότερα στάδια. Τα βήματα αυτά γεφυρώνουν το χάσμα συμβολικών και μη συμβολικών αναπαραστάσεων του αριθμού και διευκολύνουν την κατανόηση και την ευχέρεια εκτέλεσης αριθμητικών πράξεων (Wilson et al., 2006b)

4.1.3 Γενικές πληροφορίες και προδιαγραφές του λογισμικού

Το εκπαιδευτικό λογισμικό The Number Race σχεδιάστηκε για την αποκατάσταση των ελλειμμάτων της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας παιδιών ηλικίας 5-8 ετών. Ωστόσο, έχει υποστηριχθεί ότι μπορεί να αποτελέσει εργαλείο εκπαιδευτικής παρέμβασης σε παιδιά μεγαλύτερης ηλικίας. Επίσης, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί σε παιδιά με άλλες Ειδικές Μαθησιακές Δυσκολίες και ακόμη, ορισμένα στάδια του λογισμικού θα μπορούσαν αποτελέσουν διδασκαλία ή εξάσκηση παιδιών με Νοητική Αναπηρία.

Το λογισμικό διατίθεται δωρεάν για εγκατάσταση στο Διαδίκτυο σε αρκετές γλώσσες, συμπεριλαμβανομένης της αγγλικής, όμως δεν είναι διαθέσιμο στα ελληνικά. Για τη δημιουργία προγραμματισμού έχει χρησιμοποιηθεί η γλώσσα προγραμματισμού Java. Όσον αφορά στη προσβασιμότητα και την ευχρηστία του προϊόντος, δεν έχει μέχρι στιγμής προκύψει σχετική μελέτη. Ωστόσο, η γενική εικόνα προϋποθέτει με επιφύλαξη για καλή προσβασιμότητα (τουλάχιστον όσον αφορά μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία) και σχετικά καλή ευχρηστία.

4.2 The Number Catcher

Οι κατασκευαστές του λογισμικού The Number Race θεώρησαν αδήριτη εκπαιδευτική ανάγκη τη δημιουργία ενός άλλου λογισμικού για περιπτώσεις μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία, το οποίο να μπορεί να χρησιμεύσει ως υλικό πρώιμης παρέμβασης. Έτσι, επόμενο δημιούργημά τους υπήρξε το εκπαιδευτικό λογισμικό The Number Catcher το οποίο απευθύνεται σε μικρότερες ηλικίες και πρωταρχικό στόχο έχει την κινητοποίηση του ενδιαφέροντος προς τα μαθηματικά, τη διδασκαλία θεμελιωδών προμαθηματικών και μαθηματικών δεξιοτήτων και κυρίως, την ταχεία ανάδυση της αίσθησης του αριθμού (INCERM-CEA, 2011).

4.2.1 Συμβατότητα με τα ελλείμματα της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας

Δεδομένου ότι το λογισμικό The Number Catcher σχεδιάστηκε για χρήστες που στο μέλλον αναμένεται να χρησιμοποιήσουν το λογισμικό The Number Race, έπεται ότι οι προϋποθέσεις κατασκευής του αντιστοιχούν σε πολύ πρώιμες μαθηματικές δεξιότητες. Είναι ευλογοφανές ότι σε μικρές ηλικίες δεν είναι άμεσα ορατά τα ελλείμματα της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας. Επομένως, μπορεί κανείς να υποθέσει ότι το λογισμικό δεν στοχεύει τόσο στην αποκατάσταση ελλειμμάτων όσο στην ανάδυση και τη διδασκαλία ορισμένων στρατηγικών. Στον αρχικό σχεδιασμό του ασφαλώς η παράμετρος είχε να κάνει με την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Ωστόσο, δεν υπάρχει κανένας περιορισμός στη χρήση του λογισμικού και από τυπικά παιδιά.

Σύμφωνα με τους κατασκευαστές οι στόχοι του λογισμικού είναι οι εξής:

1. Βήμα-βήμα διδασκαλία της πρόσθεσης και της αφαίρεσης
2. Ενδυνάμωση του γνωστικού μηχανισμού της αριθμητικής επεξεργασίας
3. Επίτευξη ευχέρειας στους υπολογισμούς
4. Επικέντρωση σε διψήφιους αριθμούς
5. Υποστήριξη παιδιών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία

Από τους στόχους γίνεται αντιληπτή η τάση των κατασκευαστών να εστιάζουν σε ελλείμματα της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας. Ο μόνος στόχος που κρίνεται γενικός είναι ο πέμπτος και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ηλικία στην οποία απευθύνεται το λογισμικό είναι πολύ μικρή για ασφαλή διάγνωση της ειδικής μαθησιακής δυσκολίας. Άρα, ίσως τίθεται για να προϋδεάσει για τη συμβατή χρήση του λογισμικού ως υλικό πρώιμης παρέμβασης σε παιδιά που κρίνονται υψηλής επικινδυνότητας για Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία.

Ο πρώτος στόχος αφορά στη βηματική διδασκαλία δύο βασικών πράξεων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη στρατηγική της μέτρησης η οποία στο λογισμικό αυτό διδάσκεται με την ένα προς ένα τοποθέτηση αντικειμένων από ένα αφηρημένο σύνολο σε ένα συγκεκριμένο. Για παράδειγμα, το αφηρημένο σύνολο αφορά σε μία τετράδα με φρούτα τα οποία θα πρέπει να τοποθετηθούν ένα προς ένα σε μεμονωμένες θέσεις ενός συγκεκριμένου συνόλου (θέσεις κιβωτίου). Με τον τρόπο αυτό τα παιδιά αντιλαμβάνονται πώς να χειρίζονται ποσότητες καθώς και το μέγεθος των ποσοτήτων αυτών. Στη συνέχεια, διδάσκεται η στρατηγική του συμπληρώματος. Αυτή η στρατηγική συνίσταται στο εξής: έχοντας ως στόχο έναν άρτιο αριθμό (συνήθως το 10 ή το 100), ο μαθητής κατέχοντας μία συγκεκριμένη ποσότητα, καλείται να κάνει προσθαφαιρέσεις ώστε να φτάσει το στόχο του. Για παράδειγμα, έχει κάποιος οχτώ. Πόσα χρειαστεί μέχρι να φτάσει στο δέκα; Η σύλληψη αυτής της στρατηγικής είναι πολύ απλή και συνάμα εξαιρετικά σημαντική για την αντίληψη της αριθμογραμμής και των βασικών πράξεων.

Ο δεύτερος στόχος περί ενδυνάμωσης του γνωστικού μηχανισμού της αριθμητικής επεξεργασίας επιτυγχάνεται μέσα από την αντίληψη των διαφόρων αναπαραστάσεων που εκλαμβάνει μία ποσότητα. Έτσι, στο λογισμικό οι ποσότητες δίνονται συμβολικά ως αριθμητικά ψηφία, λεκτικά ως προφορικά εκφερόμενες λέξεις, οπτικά-ρεαλιστικά ως συγκεκριμένες ποσότητες ειδών και σειροθετημένα ως επίδειξη αντικειμένων. Σκοπός των σχετικών «παιχνιδιών» είναι ο χειρισμός όλων των

αριθμητικών αναπαραστάσεων και η ευχέρεια και η ευκολία μετασχηματισμού της μιας αναπαράστασης στην άλλη.

Ο τρίτος στόχος είναι διάχυτος και δεν εντοπίζεται σε συγκεκριμένες στρατηγικές. Εξυπηρετείται κυρίως από την επανάληψη συγκεκριμένων δραστηριοτήτων και την πλήρη ακουστική συνδρομή η οποία επεξηγεί όλες τις κινήσεις του χρήστη.

Όσον αφορά την επικέντρωση σε διψήφιους αριθμούς αυτό αποτελεί το προχωρημένο επίπεδο του παρόντος λογισμικού. Εξυπακούεται ότι οι δραστηριότητες ξεκινούν με τον χειρισμό μονοψήφιων αριθμών και σταδιακά περνάει στους διψήφιους και συγκεκριμένα μέχρι τον αριθμό 39.

Όπως ελέγχθη, ο πέμπτος στόχος είναι απλώς μία ένδειξη. Ένδειξη ότι το εν λόγω λογισμικό μπορεί να υποστηρίξει πλήρως μικρής ηλικίας παιδιά που χαρακτηρίστηκαν ως υψηλής επικινδυνότητας για Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Με άλλα λόγια, οι προδιαγραφές του λογισμικού έχουν συνυπολογίσει τις δυσκολίες που προκαλούν τα ελλείμματα της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας.

4.2.2 Περιγραφή του λογισμικού

Το εκπαιδευτικό λογισμικό The Number Catcher, αν και αποκύημα των κατασκευαστών του προαναφερθέντος The Number Race, έχει σημαντικές διαφορές και βελτιώσεις. Το λογισμικό ξεκινάει με μία πολύ εξελιγμένη εικόνα εξοχής και μέσω μεταφοράς που προϋδεάζει αμέσως για το κεντρικό concept της εφαρμογής. Οι δύο κύριες επιλογές του χρήστη αφορούν σε επίπεδο κανονικό και επίπεδο προχωρημένο. Πατώντας στην επιλογή του κανονικού επιπέδου αρχικά δίνονται οδηγίες γραπτά και προφορικά για τους σκοπούς του παιχνιδιού και τον τρόπο με τον οποίο οι σκοποί αυτοί εξυπηρετούνται.

Βασική επιδίωξη και στόχος του χρήστη είναι να γεμίσει τους πάγκους ενός παντοπωλείου με πληθώρα προϊόντων. Για να γεμίσουν οι πάγκοι πρέπει πρώτα ένα μεταφορικό μέσο (νταλίκι, άμαξα, πλοιάριο) να μεταφέρει τα προϊόντα (φρούτα, λουλούδια, ψάρια). Η κύρια δραστηριότητα του χρήστη είναι να γεμίσει τις αριθμημένες θέσεις του κιβωτίου του εκάστοτε μεταφορικού μέσου παίρνοντας προϊόντα από άλλα κιβώτια με διάφορες ποσότητες ανά περίπτωση. Δηλαδή δίνονται

μεμονωμένα, σε δυνάδες, τριάδες, τετράδες, κ.ο.κ. φρούτα τα οποία θα πρέπει να τοποθετηθούν στις θέσεις του τροχοφόρου έτσι ώστε να αντιστοιχούν ακριβώς. Επί παραδείγματι, αν η νταλικά έχει 5 κενές θέσεις, ο χρήστης θα πρέπει να επιλέξει την πεντάδα ή μία τετράδα και ένα μεμονωμένο ή μία τριάδα και μία δυνάδα. Σε περίπτωση που επιλέξει ποσότητες που αθροιστικά υστερούν ή υπερβαίνουν τις θέσεις του κιβωτίου της νταλίκας, χάνει πόντους και καθυστερεί να περάσει στο επόμενο επίπεδο. Μόλις συμπληρωθούν οι θέσεις η νταλικά αναχωρεί για το οπωροπωλείο όπου τοποθετούνται τα φρούτα. Μετά ακολουθεί η αξιολόγηση με διαβάθμιση αστερών. Τρεις αστέρες αντιστοιχούν σε άριστη επίδοση ενώ κανένας αστέρας γίνεται αφορμή για επανάληψη της δραστηριότητας. Στα πρώτα πέντε στάδια μία νταλικά μεταφέρει φρούτα. Στα επόμενα πέντε στάδια μία άμαξα μεταφέρει λουλούδια ενώ στα τελευταία πέντε στάδια ένα πλοιάριο μεταφέρει ψάρια.



Εικόνα 3 Αντιστοίχιση ποσοτήτων στις θέσεις



Εικόνα 4 Συνδυασμός αντιστοίχισης ποσοτήτων/αριθμών

Η διαδικασία που προηγήθηκε επισυμβαίνει στο κανονικό επίπεδο. Αν ο χρήστης επιλέξει το προχωρημένο επίπεδο, αντιμετωπίζει ορισμένες προκλήσεις. Ανεβαίνοντας στάδια τα κιβώτια με τα προϊόντα εμφανίζονται ορισμένα συμβολικά ως αριθμός και ορισμένα φωτορεαλιστικά ως ποσότητες. Επίσης, οι ποσότητες των φρούτων διαρκώς αυξάνονται, ενώ ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα εργαλείο, το πριόνι, για να προσαρμόσει τις ποσότητες αν οι θέσεις του μεταφορικού μέσου είναι λίγες κόβοντας τα κιβώτια με τα φρούτα στο σωστό σημείο. Επίσης, η δραστηριότητα έχει χρονομετρητή και πλέον ο παράγοντας της ταχύτητας με την οποία θα επιλέξει τις ποσότητες παίζει ρόλο στη διαμόρφωση της αξιολόγησης. Αξίζει να αναφερθεί ότι στα πολύ προχωρημένα επίπεδα το παιχνίδι γίνεται εξαιρετικά απαιτητικό.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι στο συγκεκριμένο λογισμικό έχουν γίνουν σημαντικές προσπάθειες θετικής ανατροφοδότησης του χρήστη είτε με νύξεις (Well

Done!) είτε με επισημάνσεις ενίσχυσης (Fast! όταν πρόκειται για ταχύτατες ορθές απαντήσεις) είτε με θαυματικές εικόνες (πυροτεχνήματα). Τα προφορικά σχόλια γίνονται από έναν παπαγάλο που καθοδηγεί το χρήστη καθ' όλη τη διάρκεια. Τέλος, τα γραφικά του λογισμικού είναι ευκρινή και καλαίσθητα, αρκετά βελτιωμένα συγκριτικά με το The Number Race.

4.2.3 Γενικές πληροφορίες και προδιαγραφές του λογισμικού

Το εκπαιδευτικό λογισμικό The Number Catcher σχεδιάστηκε για την ανάδυση των μαθηματικών εννοιών και δεξιοτήτων παιδιών ηλικίας 5-10 ετών καθώς και για την επίτευξη ευχέρειας και άνεσης στην αντιμετώπιση απλών αριθμητικών πράξεων (INCERM-CEA, 2011). Οι κατασκευαστές έλαβαν υπόψη τις ιδιαίτερες δυσκολίες που αντιμετωπίζουν τα παιδιά με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Συνεπώς, μπορεί να υποστηριχθεί ότι αυτό το εκπαιδευτικό λογισμικό είναι κατάλληλο μεταξύ άλλων και για παιδιά με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Ωστόσο, ορισμένες δραστηριότητες του προχωρημένου επιπέδου είναι εκ των πραγμάτων δύσκολες.

Το λογισμικό διατίθεται δωρεάν στο Διαδίκτυο σε τέσσερις γλώσσες, συμπεριλαμβανομένης της Αγγλικής, όμως δεν είναι διαθέσιμο στα ελληνικά. Για τη δημιουργία προγραμματισμού έχει χρησιμοποιηθεί η γλώσσα προγραμματισμού Java. Όσον αφορά στη προσβασιμότητα και την ευχρηστία του προϊόντος, δεν έχει μέχρι στιγμής προκύψει σχετική μελέτη. Ωστόσο, συγκριτικά με το προγενέστερο The Number Race η προσβασιμότητα κρίνεται αισθητά καλύτερη, ενώ ως προς την ευχρηστία ο βαθμός βελτίωσης είναι σημαντικά υψηλότερος. Δυστυχώς, ακόμη δεν έχει αποτελέσει εργαλείο παρέμβασης για κάποια εμπειρική έρευνα.

4.3 Dybuster Calcularis

Το εκπαιδευτικό πακέτο Dybuster Calcularis αναπτύχθηκε από διεπιστημονική ομάδα ενασχόλησης με την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία στο Πανεπιστήμιο της Ζυρίχης (Käser et al., 2013). Πρόκειται για ένα συνονθύλευμα εκπαιδευτικών λογισμικών από τα οποία το καθένα έχει συγκεκριμένο στόχο για την αποκατάσταση των ελλειμμάτων της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας. Το Calcularis είναι σχεδιασμένο υπό αυστηρή επιστημονική εποπτεία και στηρίζεται σε ένα μοντέλο ανάπτυξης των μαθηματικών εννοιών που εκπονήθηκε από τους δημιουργούς του.

4.3.1 Συμβατότητα με τα ελλείμματα της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας

Αν και η επιστημονική βάση στην οποία στηρίζονται τα επιμέρους εκπαιδευτικά λογισμικά για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία είναι κυρίως η θεωρία περί γνωστικού ελλείμματος, στην περίπτωση του Calcularis οι σχεδιαστές εμμένουν στα ευρήματα της νευροαπεικόνισης. Οι Käser και συν. (2013) έχοντας ως αφετηρία τις περιοχές του εγκεφάλου που υπολειτουργούν ή λειτουργούν ελλειμματικά στην Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία, στοχεύουν αφενός στην άμβλυνση των ελλειμμάτων και αφετέρου στην αποκατάσταση των νευρωνικών συνάψεων έτσι ώστε να επέλθει φυσιολογική λειτουργία. Επομένως, ο κύριος στόχος του εκπαιδευτικού λογισμικού είναι να υποστηρίξει τη νευρωνική ανάπτυξη μέσω της ανάπτυξης της μαθηματικής σκέψης και πιο συγκεκριμένα, της ανάδυσης και εξέλιξης της νοητής αριθμογραμμής (Käser et al., 2013).

Ο παραπάνω στόχος υλοποιείται έχοντας ως βασική θεωρητική πυξίδα ένα αναπτυξιακό μοντέλο μαθηματικών δεξιοτήτων (Käser et al., 2013). Το μοντέλο αυτό χαρακτηρίζεται από μία κλίμακα τεσσάρων σταδίων ιεραρχικά δομημένων, καθένα από τα οποία εκπροσωπεί τις μαθηματικές δεξιότητες που αποκτώνται εξελικτικά από το παιδί. Επίσης, σε κάθε στάδιο ενεργοποιείται συγκεκριμένη περιοχή του εγκεφάλου ώστε να αναδύουν οι ανάλογες δεξιότητες. Ακόμη, η σταδιακή ενεργοποίηση των περιοχών αυτών συνδέεται με την εξέλιξη της νοητικής αναπαράστασης της έννοιας του αριθμού. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι περιοχές αυτές υπολειτουργούν σε παιδιά με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία.

Το πρώτο στάδιο ονομάζεται Βασικό Σύστημα Αριθμητικών Μεγεθών (Basic System of Arithmetic Magnitude) (Käser et al., 2013). Αποκτάται κατά τη βρεφική και νηπιακή ηλικία ενώ ενδέχεται να παραταθεί μέχρι και την προσχολική ηλικία. Το βρέφος/νήπιο αναγνωρίζει μόνο συγκεκριμένες αναπαραστάσεις μεγεθών (σύνολα αντικειμένων). Οι δεξιότητες που αναδύουν είναι η ταχεία αριθμητική αναγνώριση και πρόβλεψη (subitizing), η εκτίμηση (estimation) και η σύγκριση μεγεθών (magnitude comparison). Σύμφωνα με τους De Smedt, Noël, Gilmore και Ansari (2013) οι δεξιότητες αυτές είναι αποτέλεσμα των νευρωνικών συνάψεων αμφοτέρων των βρεγματικών λοβών.

Το δεύτερο στάδιο είναι το Σύστημα Λεκτικού Αριθμού (Verbal-linguistic Number System) και αποτελεί φυσική συνέχεια του προηγούμενου (Käser et al., 2013). Συνήθως, τα παιδιά προσχολικής ηλικίας διάγουν το εν λόγω στάδιο, αν και σε αυτή την περίπτωση είναι αμφιλεγόμενος ο ηλικιακός περιορισμός. Η γνωστική αναπαράσταση που έχει ένα παιδί σε αυτό το στάδιο είναι η λεκτική (αριθμολέξεις), δηλαδή η αναγνώριση ότι η λέξη «ένα» αντιστοιχεί σε μία ποσότητα, η λέξη «δύο» σε δύο ποσότητες κ.ο.κ. Οι δεξιότητες που αντιστοιχούν σε αυτό το στάδιο είναι η μέτρηση (counting), οι στρατηγικές μέτρησης και οι εκτέλεση απλών βασικών πράξεων. Η περιοχή του εγκεφάλου που ενεργοποιείται είναι ο αριστερός προμετωπιαίος φλοιός (de Smedt et al., 2013; Käser et al., 2013).

Η αναγνώριση των αραβικών ψηφίων των αριθμών πραγματοποιείται στο τρίτο στάδιο, το Οπτικο-αραβικό Σύστημα (Visual-Arabic System). Στο στάδιο αυτό τα παιδιά της πρώτης κυρίως σχολικής ηλικίας είναι σε θέση να αποκωδικοποιούν τις ευρέως διαδεδομένες συμβολικές αναπαραστάσεις των αριθμών (αραβικά ψηφία) ως ποσότητες. Ωστόσο, δεν είναι σαφές αν σε αυτό το στάδιο αναπτύσσεται παράλληλα η έννοια του συνεχούς των αριθμών (de Smedt et al., 2013). Πλέον, οι δεξιότητες που απαιτούνται γι' αυτό το στάδιο είναι πιο σύνθετες. Αναπτύσσονται η αντίληψη περιττού και άρτιου αριθμού, ο γραπτός υπολογισμός και η γραπτή επίλυση αναπτυγμάτων και οι στρατηγικές επίλυσης απλών μαθηματικών προβλημάτων (στα πλαίσια των πράξεων της πρόσθεσης και της αφαίρεσης). Εξαιτίας της συνθετότητας των δεξιοτήτων η περιοχή του εγκεφάλου που ενεργοποιείται είναι οι κροταφικοί λοβοί.

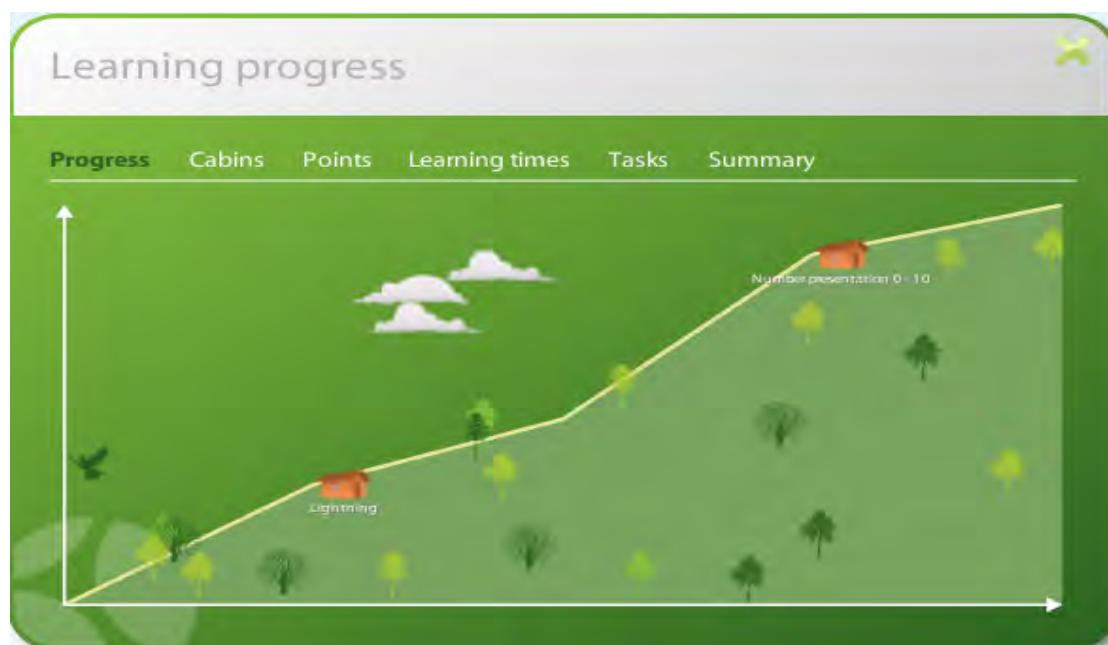
Το τέταρτο και τελικό στάδιο είναι το Αναλογικό Σύστημα (Analogue System) το οποίο είναι ο προπομπός της απόκτησης ανώτερων μαθηματικών εννοιών. Αποκτάται κατά τη δεύτερη σχολική ηλικία και επεκτείνεται μέχρι την εφηβική. Τα παιδιά είναι πλέον σε θέση να αντιλαμβάνονται την άπειρη αριθμογραμμή, την ιδιότητα του συνεχούς των αριθμών και να επιτελούν υπολογιστικές διεργασίες με το νου. Πλέον, η γνωστική αντίληψη του αριθμού γίνεται νοητή επιτρέποντας στα παιδιά να υπολογίζουν αναπαριστώντας στο μυαλό τους τις ποσότητες και τα σύμβολα χωρίς να έχουν οπτική επαφή με αυτά. Ακόμη, τα παιδιά εμπεδώνουν τις πιο προχωρημένες μαθηματικές στρατηγικές, όπως ο κατά προσέγγιση υπολογισμός, ο πολλαπλασιασμός και η διαίρεση. Όσον αφορά στον πολλαπλασιασμό και της διαίρεσης δεν πρόκειται μόνον για την αποστήθιση της προπαίδειας αλλά και της έννοιας της κλιμάκωσης και του «μοιράσματος» των αριθμών αντίστοιχα.

4.3.2 Περιγραφή του λογισμικού

Το Calcularis δεν διαθέτει ελεύθερη πρόσβαση στην πλήρη έκδοσή του, ώστε να δοθεί περιθώριο για μία κατατοπιστική περιγραφή. Ωστόσο, η δοκιμαστική έκδοση (tour) είναι εξαντλητική δίνοντας έτσι μία γενναιόδωρη παρουσίαση των χαρακτηριστικών του λογισμικού. Η δοκιμαστική έκδοση ελέγχεται κατά βάση από το ίδιο το λογισμικό. Με άλλα λόγια, παρέχεται οπτικοακουστικό υλικό με οδηγίες για τη φύση και τις δυνατότητες του λογισμικού καθώς επίσης και οι επιστημονικές λεπτομέρειες γύρω από τη μαθησιακή δυσκολία (Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία). Το υλικό αυτό παρέχεται κυρίως για να εισάγει το χρήστη σε ένα σύνολο των πιο χαρακτηριστικών ασκήσεων καθώς επίσης και για να δώσει κίνητρο για την εγκατάσταση της πλήρους έκδοσης.

Η μορφή των δραστηριοτήτων του Calcularis προσομοιάζει με το αξιολογικό σύστημα CBA (Curriculum-Based Assessment). Το CBA συνίσταται στην προοδευτική, ειδικά σχεδιασμένη διαμορφωτική αξιολόγηση ακαδημαϊκών έργων των μαθητών με σκοπό την επίτευξη επιμέρους μαθησιακών στόχων (Hintze, Christ, & Methe, 2006). Η αξιολόγηση αυτή πραγματοποιείται με ολιγόλεπτες δοκιμασίες (probes) εκ των οποίων εξάγεται η βαθμολογία η οποία αποτελεί το βασικό δείκτη προόδου του μαθητή. Για την εξαγωγή της βαθμολογίας υπάρχει ένα πρωτόκολλο

ορθών και εσφαλμένων απαντήσεων οι οποίες εν τέλει αθροίζονται με ειδικό μαθηματικό τύπο. Η πρόοδος καταγράφεται υπό μορφή γραφήματος γραμμών (line chart) ώστε να φαίνονται οι μεταβολές της προόδου με το πέρασμα του χρόνου (εικ. 5) (Hintze, Christ, & Methe, 2006).



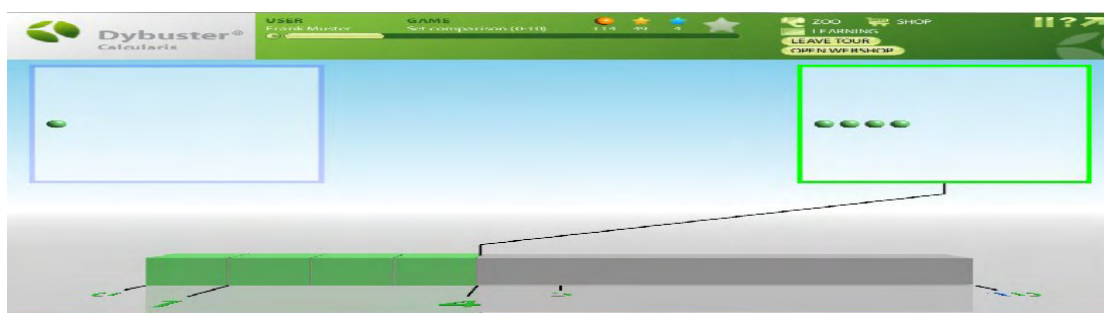
Εικόνα 5 Γράφημα γραμμής προόδου

Όλες οι δραστηριότητες του λογισμικού εμπεριέχουν επιβράβευση εάν οι απαντήσεις του χρήστη είναι ορθές. Συγκεκριμένα, ο χρήστης συλλέγει πόντους, αστέρια και νομίσματα σε περίπτωση που επιτυγχάνει τους στόχους. Αυτού του είδους η επιβράβευση ανήκει στο σύστημα οικονομίας με μάρκες (token economy). Το σύστημα οικονομίας με μάρκες είναι ένα γνωστικό-συμπεριφοριστικό σύστημα αλλαγής της συμπεριφοράς μέσω της ενίσχυσης με ένα ανταλλάξιμο μέσο (μάρκες) και της εξαργύρωσής του με ένα προνόμιο (Coelho et al., 2015). Στην προκειμένη περίπτωση, τα εκάστοτε ανταλλάξιμα μέσα εξαργυρώνονται με την απόκτηση ενός νέου ήρωα, κινητοποιώντας έτσι το χρήστη να συνεχίσει τις επιτυχίες του (αλλαγή συμπεριφοράς) ώστε να αποκτήσει το σύνολο των ηρώων (ενίσχυση). Στη συνέχεια, οι ήρωες αυτοί (ζώα) τοποθετούνται σε κατάλληλα περιβάλλοντα (ζούγκλα, σαβάννα, κ.ά) συνθέτοντας και εμπλουτίζοντας μία όμορφη εικόνα.

«Τρέχοντας» τη δοκιμαστική έκδοση στην αρχή ο χρήστης κάνει εγγραφή δηλώνοντας ορισμένα δημογραφικά στοιχεία. Στη συνέχεια, γίνεται μία σύνοψη του περιεχομένου και των σκοπών του λογισμικού μέσω μικρών βίντεο. Μόλις αυτά

ολοκληρωθούν ο χρήστης προχωράει στις δραστηριότητες. Σε αυτές τις δραστηριότητες υπάρχουν διαβαθμίσεις δυσκολίας ανάλογα με το αυξανόμενο εύρος των αριθμών. Στοιχειώδεις είναι το εύρος 0-10. Εύκολο το εύρος 0-20. Μέτριο χαρακτηρίζεται το εύρος 0-100, ενώ αυξημένης δυσκολίας χαρακτηρίζεται το εύρος 0-1000.

Με την επιλογή του εύρους ο χρήστης καλείται να επιλέξει έναν σύντροφο, ο οποίος θα δίνει οδηγίες σε κάθε αρχή των δραστηριοτήτων. Οι δραστηριότητες της δοκιμαστικής έκδοσης είναι οι 10 πιο χαρακτηριστικές μεταξύ των 48 δραστηριοτήτων του λογισμικού. Κάθε δραστηριότητα φέρει τον τίτλο της πριν ξεκινήσει (π.χ. Σύγκριση συνόλων). Η μορφή των ασκήσεων είναι η εξής: δίνονται εικονικές ποσότητες (με τη μορφή βόλων) και ο χρήστης καλείται είτε να επιλέξει τις περισσότερες, είτε να μετρήσει βόλους έναν-έναν με τον κέρσορα ώστε να φτάσει στον αριθμό που δίδεται, είτε να τους αθροίσει, είτε να τους αφαιρέσει, είτε να τοποθετήσει μία συγκεκριμένη ποσότητα αυτών σε ένα άδειο αντικείμενο είτε να εκτιμήσει τη θέση τους σε μία αριθμογραμμή. Η κάθε δραστηριότητα εξαρτάται από την δεξιότητα την οποία θέλει να εξασκήσει.



Εικόνα 6 Εκτίμηση ποσοτήτων σε θέση αριθμών στην αριθμογραμμή

4.3.3 Γενικές πληροφορίες και προδιαγραφές του λογισμικού

Το εκπαιδευτικό πακέτο Dybuster Calcularis διαθέτει εξαιρετική προσαρμοστικότητα όσον αφορά στην ηλικιακή παιδιών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία στην οποία απευθύνεται. Χαρακτηριστικά, προσαρμόζεται στο επίπεδο κάθε χρήστη και με συνέπεια ενισχύει τις μαθηματικές δεξιότητες που μειονεκτούν σε κάθε περίπτωση (Käser et al., 2013). Η πλήρης έκδοση απαιτεί συνδρομή ενώ, όπως

αναφέρθηκε, διατίθεται στο Διαδίκτυο μία δοκιμαστική έκδοση η οποία δίνει μία διευκρινιστική πλην γενική εικόνα του λογισμικού υπό μορφή guided tour.

Το λογισμικό διατίθεται μόνον στην αγγλική, την γαλλική και την αγγλική γλώσσα, ενώ εντύπωση προκαλεί η ύπαρξη επιλογής τριών διαλέκτων της αγγλικής γλώσσας (βρετανική, αμερικανική, καναδική). Προφανώς οι κατασκευαστές προνόησαν για τυχόν ελλείμματα ακουστικής και αναγνωστικής κατανόησης που συνυπάρχουν σε περιπτώσεις αγγλόφωνων παιδιών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Τέλος, για τον προγραμματισμό του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα Java.

4.4 Συμπεράσματα και ερευνητικά ερωτήματα

Το 2009 οι Seo και Bryant δημοσίευσαν μία μετα-ανάλυση με την οποία επιχείρησαν να διερευνήσουν την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας μέσω εκπαιδευτικών λογισμικών στην απόδοση των μαθητών με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες στα μαθηματικά. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα περί αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων με χρήση λογισμικών δεν είναι πειστικά (Seo & Bryant, 2009). Με άλλα λόγια, δεν ήταν βέβαιο ότι η αύξηση στην απόδοση σε μαθηματικές ασκήσεις οφείλεται μονομερώς στη μεσολάβηση της χρήσης των εκπαιδευτικών λογισμικών. Το συμπέρασμα αυτό έθεσε σε σκέψη την επιστημονική κοινότητα που ασχολείται με τις τεχνολογίες στο πεδίο της Ειδικής Αγωγής.

Ο σκεπτικισμός αυτός στάθηκε αφορμή για την εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Ακόμη, τα αντιφατικά μηνύματα που έρχονται αφενός από μέρος εμπειρικών ερευνών οι οποίες καταδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών λογισμικών στην διδασκαλία των μαθηματικών και αφετέρου από την προαναφερθείσα μετα-ανάλυση δημιούργησαν ένα ερώτημα αναφορικά με τις πρόσφατες σχετικές ερευνητικές εργασίες. Ανέκυψαν ζητήματα όπως: έχει υπάρξει τέτοια βελτίωση στα εκπαιδευτικά λογισμικά που να δικαιολογεί την αποτελεσματικότητά τους, έχει νόημα η ενσωμάτωση μιας παρέμβασης με εκπαιδευτικά λογισμικά στη διδασκαλία των μαθηματικών σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία, ποιες είναι οι νέες τάσεις που θα καταστήσουν μία τέτοια παρέμβαση χρήσιμη στη διδασκαλία και αποτελεσματική.

Συνυπολογιζόμενων αυτών των ερωτημάτων παρατίθενται οι σκοποί αυτής της εργασίας:

1. Να καταστεί σαφής η αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών παρεμβάσεων με εκπαιδευτικά λογισμικά στα μαθηματικά σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία.
2. Να αποτυπωθούν εκείνες οι διεργασίες και οι στρατηγικές που αναδύονται/καλλιεργούνται μέσω της διδασκαλίας με εκπαιδευτικά λογισμικά.
3. Να αναδειχθούν οι παιδαγωγικές συνιστώσες που είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό ενός επιτυχούς εκπαιδευτικού λογισμικού για τη διδασκαλία των μαθηματικών στην Ειδική Αγωγή.
4. Να κατατεθούν προτάσεις για την έξυπνη χρήση των λογισμικών στη διδασκαλία υπό την έννοια ότι η διδασκαλία είναι η διαδικασία και το εκπαιδευτικό λογισμικό είναι το μέσο.

Προς εξυπηρέτηση των σκοπών αυτών και έχοντας υπόψη τα συμπεράσματα της μετα-ανάλυσης (Seo & Bryant, 2009) διατυπώνονται τα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

1. Είναι εν τέλει αποτελεσματική η χρήση των εκπαιδευτικών λογισμικών στην ανάπτυξη στοιχειωδών μαθηματικών διεργασιών και τη διδασκαλία μαθηματικών δεξιοτήτων σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία;
2. Ποιες μαθηματικές διεργασίες αναδύονται ή τείνουν να αναδυθούν με τη χρήση των εκπαιδευτικών λογισμικών στη διδασκαλία των μαθηματικών;
3. Ποιοι παράγοντες συγκλίνουν στην αποτελεσματική χρήση των εκπαιδευτικών λογισμικών;
4. Ποιες είναι οι παιδαγωγικές προϋποθέσεις με τις οποίες ένα εκπαιδευτικό λογισμικό πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να συμβάλλει θετικά στη διδασκαλία των μαθηματικών σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία;

Οι απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα αναμένεται να ανοίξουν νέες οδούς στο σχεδιασμό των μελλοντικών εκπαιδευτικών λογισμικών καθώς και να συμβάλλουν στην ολόπλευρη κατανόηση της αλληλεπίδρασης του μαθητή με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες και του υπολογιστή (ή άλλης πλατφόρμας) και στα ευεργετικά αποτελέσματα που ενδέχεται να προκύπτουν από αυτή.

5. Μεθοδολογία

5.1 Κριτήρια επιλογής υλικού επεξεργασίας

Για τους σκοπούς αυτής της εργασίας πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας σε διεθνώς έγκυρες και επιστημονικά κατοχυρωμένες βάσεις δεδομένων (Scopus, Science Direct, ERIC, Google Scholar). Αναζητήθηκαν αποκλειστικά άρθρα και αναφορές που δημοσιεύθηκαν από το 2009 και εξής ώστε τα ερευνητικά ευρήματα να έπονται των όσων παρατέθηκαν στην μετα-ανάλυση των Seo και Bryant (2009), ώστε να καθίσταται ευκολότερη η συγκριτική αποτίμηση παλαιότερων και νεότερων δεδομένων. Οι λέξεις-κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σε κάθε περίπτωση “developmental dyscalculia”, “educational software” και “intervention”. Κατά περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν οι λέξεις-κλειδιά “CAI”, “computer-based instruction”, “learning disabilities” και “technology”, ενώ έγινε αναζήτηση ακόμη και με το όνομα των λογισμικών που συζητήθηκαν στο τέταρτο κεφάλαιο. Απορρίφθηκε οποιαδήποτε *καταχώριση* αντιστοιχούσε σε αδημοσίευτες μελέτες και μη εμπειρικές έρευνες. Οι αρχικές έρευνες που επιλέχθηκαν ήταν 29.

Το σκεπτικό αναζήτησης ήταν να συλλεχθούν εμπειρικές μελέτες στις οποίες εφαρμόζοταν μία εκπαιδευτική παρέμβαση με τη βοήθεια ενός λογισμικού σε παιδιά πρώτης σχολικής ηλικίας με δυσκολίες στα μαθηματικά και κατά προτίμηση, με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Με βάση αυτή τη συλλογιστική καταρτίστηκαν ειδικά κριτήρια επιλογής των μελετών ως εξής:

1. Οι έρευνες έπρεπε να συμπεριλαμβάνουν ως δείγμα μαθητές με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες στα μαθηματικά ή με διάγνωση Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας. Αισθητηριακές αναπηρίες, νοητική καθυστέρηση και αυτισμός αποκλείστηκαν. Δείγματα μαθητών που χαρακτηρίζονται ως μαθητές με μέτριες ή κακές επιδόσεις στα μαθηματικά ή μαθητές με σημαντικές δυσκολίες που συνοδεύονται από το άγχος των μαθηματικών συμπεριλήφθηκαν κατά περίπτωση. Ο λόγος έγκειται στο γεγονός ότι η διάγνωση των μαθησιακών δυσκολιών (και ειδικά της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας) είναι εξαιρετικά επισφαλής στη νηπιακή ηλικία. Η παρέμβαση θα έπρεπε να πραγματοποιείται με εκπαιδευτικά λογισμικά (κατά προτίμηση, με τα τρία λογισμικά που παρουσιάστηκαν). Το μέσο με το οποίο παρέχεται η παρέμβαση δεν είχε μεγάλη

σημασία. Δηλαδή το αν οι μαθητές θα εξασκούσαν σε υπολογιστή, έξυπνο τηλέφωνο (smartphone), ταμπλέτα ή παιχνιδιομηχανή δεν απασχόλησε το φίλτρο αναζήτησης. Η ηλικία των μαθητών θα έπρεπε να κυμαίνεται από 5 έως 10 ετών.

2. Οι ερευνητικοί σχεδιασμοί θα έπρεπε να βασίζονταν στο μοντέλο «έλεγχος πριν/μετά» ώστε να προκύπτουν αβίαστα οι συγκρίσεις μεταξύ της επίδοσης πριν και μετά την παρέμβαση και να υπάρχει ομάδα ελέγχου. Κατά περίπτωση, έγιναν αποδεκτές μελέτες περιπτώσεων.
3. Δεν έγινε διάκριση μεταξύ ποσοτικών και ποιοτικών μελετών δεδομένου ότι η εργασία αυτή δεν εξετάζει ούτε το μέγεθος αλλά ούτε και το ρυθμό των αλλαγών στις επιδόσεις των μαθητών μετά από μία παρέμβαση με εκπαιδευτικό λογισμικό.
4. Κατά περίπτωση, έγιναν αποδεκτές μελέτες οι οποίες μεταξύ άλλων πραγματεύονται μαθηματικές έννοιες, χωρίς το θέμα τους να είναι ακριβώς αυτό.
5. Κατ' εξαίρεσιν, έγιναν αποδεκτές μετα-αναλύσεις και αναφορές (reports) που αναφέρονταν σε δεδομένα και τάσεις πολύ πρόσφατων ερευνητικών ερευνών. Ο λόγος συμπερίληψής τους έγκειται στις εμπεριστατωμένες πληροφορίες περί αποτελεσματικότητας των εκπαιδευτικών λογισμικών στη διδασκαλία των μαθηματικών σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία και στον επεξηγηματικό τους χαρακτήρα επί των επιλεγμένων εμπειρικών ερευνών.

Με βάση τα παραπάνω ειδικά κριτήρια, οι έρευνες που τελικώς επιλέχθηκαν για ανάλυση ήταν 13.

5.2 Χαρακτηριστικά κωδικοποίησης

Για την ανάλυση περιεχομένου των 13 ερευνών θεωρήθηκε χρήσιμο να καταρτιστεί ένα πρωτόκολλο κωδικοποίησης ώστε να είναι δυνατή η απομόνωση των πιο σημαντικών πληροφοριών που σχετίζονταν με τους σκοπούς της εργασίας. Οι κατηγορίες που προέκυψαν ήταν οι εξής: α) συμμετέχοντες, β) ερευνητικός σχεδιασμός, γ) περιγραφή της παρέμβασης και δ) είδος μαθηματικής διεργασίας ή δεξιότητας στην οποία εστιάζει η παρέμβαση και ε) αποτελέσματα παρέμβασης.

5.2.1 Συμμετέχοντες

Σε όλες τις υπό επεξεργασία έρευνες εξετάστηκε η ηλικία και η τάξη στην οποία φοιτούν οι μαθητές. Η πλέον κατάλληλη διάκριση έγινε αναφορικά με την τάξη. Συνεπώς, στην μία ομάδα ανήκουν οι μαθητές του νηπιαγωγείου (κάτω των 7 ετών) και στην άλλη ομάδα ανήκουν οι μαθητές του δημοτικού (7 έως 10 ετών). Σημαντική επίσης είναι η διάκριση μεταξύ μαθητών με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες και γενικές δυσκολίες στα μαθηματικά. Επισημαίνεται ότι όπου οι έρευνες περιλαμβάνουν δείγματα με διαγνωσμένη Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία, αυτές ταξινομούνται στην ομάδα των ειδικών μαθησιακών δυσκολιών.

5.2.2 Ερευνητικός σχεδιασμός

Η ταξινόμηση ανάλογα με τον ερευνητικό σχεδιασμό πραγματοποιήθηκε απομονώνοντας τις εμπειρικές, πειραματικές έρευνες από τις μελέτες περιπτώσεων και τις μετα-αναλύσεις. Οι πειραματικές έρευνες είναι αυτές που περιλαμβάνουν έναν σχεδιασμό τύπου A-B-A και ομάδα ελέγχου. Ορισμένες έρευνες έχουν ιδιάζοντες πειραματικούς σχεδιασμούς, το πρότυπο των οποίων δεν ξεφεύγει από τα μοντέλα A-B-A ή A-B-A-B. Οι μελέτες περιπτώσεων αφορούν σε δείγμα άνω του ενός πειραματικού υποκειμένου ενώ όσον αφορά στις θεωρητικές μελέτες απομονώθηκαν μόνον σύγχρονα στοιχεία, δηλαδή ευρήματα ερευνών μετά το 2009.

5.2.3 Περιγραφή παρέμβασης

Η περιγραφή της παρέμβασης αφορά κυρίως στα μέσα με τα οποία εφαρμόστηκε η παρέμβαση καθώς και τη διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, το μέσο είναι ένα εκπαιδευτικό λογισμικό. Ωστόσο, ένα εκπαιδευτικό λογισμικό μπορεί να είναι είτε ένα οργανωμένο εκπαιδευτικό πακέτο, όπως το Calcularis, είτε ένα serious game, όπως το The Number Catcher, είτε μία απλή ηλεκτρονική εφαρμογή τύπου drill and practice είτε ένας συγκερασμός των προαναφερθέντων. Επίσης, εξετάστηκε αν τα λογισμικά αυτά είναι προϊόντα διαθέσιμα στο διαδίκτυο (ελεύθερα ή με συνδρομή) ή υποπροϊόντα έρευνας.

Όσον αφορά στη διαδικασία κυρίως εξετάστηκε η συχνότητα χορήγησης και η διάρκεια της παρέμβασης. Επίσης, επισημάνθηκαν τυχόν καινοτομίες στην εφαρμογή της παρέμβασης που δύναται να έχει η οποιαδήποτε έρευνα για να εξυπηρετήσει τους σκοπούς της.

5.2.4 Είδος μαθηματικής διεργασίας ή δεξιότητας

Λέγοντας μαθηματική διεργασία εννοείται κατά κανόνα η αντιληπτική δυνατότητα, το αντιληπτικό υπόστρωμα που απαιτείται για την έναρξη της κατανόησης, της εμπέδωσης και της επέκτασης των μαθηματικών εννοιών. Μαθηματική διεργασία είναι η έννοια του αριθμού και η νοητή αριθμογραμμή. Πρόκειται για πάγιες αντιληπτικές διαδικασίες χωρίς τις οποίες είναι σχεδόν αδύνατο να επιχειρηθεί η οποιαδήποτε ανάπτυξη μαθηματικών δεξιοτήτων. Συνήθως, αναφέρεται ότι οι μαθηματικές διεργασίες αναδύονται κατά τη διάρκεια της νηπιακής ηλικίας.

Οι μαθηματικές δεξιότητες είναι τακτικές οι οποίες διευκολύνουν την επιτέλεση των μαθηματικών πράξεων και την επίλυση των μαθηματικών προβλημάτων. Μία απλή μαθηματική δεξιότητα είναι η επίγνωση ότι, ακόμη κι αν αλλάξει η σειρά του προσθέτη και του προσθετέου αριθμού, το αποτέλεσμα είναι το ίδιο (αντιμεταθετική ιδιότητα).

Κρίθηκε σημαντικό να εξεταστούν σε κάθε περίπτωση ποια μαθηματική διεργασία ή δεξιότητα επιχειρεί να αναπτύξει κάθε παρέμβαση για να ομαδοποιηθούν καλύτερα τα αποτελέσματα αφενός και αφετέρου για να προκύπτει ευκολότερα η συγκριτική αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των ευρημάτων.

5.2.5 Αποτελέσματα παρεμβάσεων

Το πλέον σημαντικό μέρος της κωδικοποίησης ήταν η καταγραφή και ταξινόμηση των αποτελεσμάτων των παρεμβάσεων. Προκειμένου να υπάρξει ομοιογένεια καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε τα αποτελέσματα να δίνονται ως θεματικές ενότητες. Οι διάφορες θεματικές ενότητες αφορούσαν την αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών λογισμικών στην ανάδυση των μαθηματικών

διεργασιών ή την ανάπτυξη συγκεκριμένων δεξιοτήτων. Όσον αφορά στις μαθηματικές δεξιότητες αυτές παρουσιάζονται κλιμακωτά από την απλούστερη στην περισσότερο απαιτητική. Με αυτόν τον τρόπο καταδεικνύεται επακριβώς η συμβολή των εκπαιδευτικών λογισμικών στα ελλείμματα δεδομένου ότι σε γενικές γραμμές οι ηλικίες των παιδιών δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους.

5.3 Προεκτάσεις

Η συστηματική συλλογή των δεδομένων καθώς και η κριτική αποτίμηση των ευρημάτων ουσιαστικά αναμοχλεύει τα ήδη υπάρχοντα αποτελέσματα. Επομένως, για να μην καταστεί κοινότυπη η εργασία αυτή προσπάθησε να σταχυολογήσει τις προϋποθέσεις που δημιουργούνται μετά τα ευρήματα μιας έρευνας για το μελλοντικό σχεδιασμό ενός αποτελεσματικού λογισμικού για μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Σε πολλές περιπτώσεις αυτό δεν κατέστη εύκολο αφού θα έπρεπε να συμπεριληφθούν θεωρητικά άρθρα που περιλαμβάνουν νέες τάσεις στην κατασκευή λογισμικών γενικότερα. Επειδή όμως κάτι τέτοιο αντέβαινε με την αρχική διατύπωση των κριτηρίων επιλογής υλικού, όλες οι προτάσεις προκύπτουν από τα ευρήματα των ερευνών και από ένα θεωρητικό άρθρο που ουσιαστικά επικαιροποιεί και συμπτύσσει τα ευρήματα παρελθόντων ερευνών (εντός των χρονολογικών ορίων που τέθηκαν). Ακόμη, καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε οι προϋποθέσεις αυτές να έχουν αμιγώς παιδαγωγικό χαρακτήρα και να προσαρμόζονται απόλυτα στη φύση της παρούσας εργασίας. Συνεπώς, τεχνικές λεπτομέρειες και προϋποθέσεις που αφορούν τον προγραμματισμό των λογισμικών δεν συμπεριλαμβάνονται.

Πίνακας Παρεμβάσεις με χρήση εκπαιδευτικών λογισμικών

Συγγραφείς (έτος)/ συμμετέχοντες/τάξη/ηλικία	Ερευνητικός σχεδιασμός	Περιγραφή παρέμβασης	Είδος μαθηματικής διεργασίας/δεξιότητας	Αποτελέσματα
Räsänen et al. (2009) 30 μαθητές με χαμηλή επίδοση στα μαθηματικά Τάξη: νηπιαγωγείο Ηλικία: 6-7	Πειραματική ομάδα/Ομάδα ελέγχου, προ-μετά έλεγχος και follow-up	Δύο προ-έλεγχοι (1 εβδομάδα), παρέμβαση (λογισμικά: GraphoGame-Math, The NumberRace [3 εβδομάδες]), δύο μετά-έλεγχοι, follow-up (3 εβδομάδες μετά)	Δεξιότητες: αριθμητική σύγκριση, λεκτικό μέτρημα, μέτρηση αντικειμένων (subitizing, counting), προσθαφαιρέσεις	Οι μαθητές που εξασκήθηκαν στα εκπαιδευτικά λογισμικά εμφάνισαν βελτίωση στην απόδοση όλων των δεξιοτήτων Υπήρξαν διαφορές στην επίδοση μεταξύ των δύο λογισμικών Σαφής βελτίωση της απόδοσης της πειραματικής ομάδας μετά την παρέμβαση στην αντίληψη της νοητής αριθμογραμμής και την απόκτηση μαθηματικών δεξιοτήτων
Kucian et al. (2011) 16 μαθητές με ΑΔ Τάξη: Δ/Α Ηλικία: 8-10	Πειραματική ομάδα/Ομάδα ελέγχου, προ-έλεγχος/ μετά- έλεγχος διπλός	Προ-έλεγχος(νευροψυχολογική αξιολόγηση, fMRI, probes), παρέμβαση (λογισμικό: Rescue Calcularis [5 εβδομάδες]), μετά-έλεγχος διπλός	Διεργασίες: νοητή αριθμογραμμή, αναπαράσταση αριθμών Δεξιότητες: προσθαφαιρέσεις	Η χρήση λογισμικών στη διδασκαλία συμβάλλει θετικά στην κατάκτηση μαθηματικών δεξιοτήτων
Shin et al. (2012) 41 μαθητές με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες στα μαθηματικά Τάξη: Β΄ Δημοτικού Ηλικία: 7-8	Σύγκριση δύο πειραματικών ομάδων, προ-έλεγχος/μετά- έλεγχος διπλός	Προ-έλεγχος, παρέμβαση (5 εβδομάδες διδασκαλία σε παιχνιδομηχανή και σε συνδυασμό παιχνιδομηχανής και καρτών), μετά-έλεγχος, παρέμβαση (λογισμικό: Skills Arena [13 εβδομάδες]), μετά- έλεγχος	Δεξιότητες: προσθαφαιρέσεις	
Käser et al. (2013) 32 μαθητές με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες στα μαθηματικά Τάξη: Β΄-Ε΄ Δημοτικού Ηλικία: 8-10 Obersteiner, Reiss & Ufer (2013) 147 μαθητές με χαμηλές επιδόσεις στα μαθηματικά Τάξη: Α΄ Δημοτικού Ηλικία: 7	Σύγκριση δύο πειραματικών ομάδων, προ-μετά έλεγχος διπλός	Πρό-έλεγχος, παρέμβαση (6 εβδομάδες εξάσκηση με το λογισμικό Calcularis), μετά- έλεγχος	Διεργασίες: νοητή αριθμογραμμή, αναπαράσταση αριθμών Δεξιότητες: προσθαφαιρέσεις, εκτιμήσεις	Βελτιώθηκαν σημαντικά η διεργασία αναπαράστασης των αριθμών και οι δεξιότητες επιτέλεσης αριθμητικών πράξεων μετά την παρέμβαση
	Σχέδιο 2x2 με προ-μετά έλεγχο	Δύο διαφορετικές παρεμβάσεις εφαρμόστηκαν σε δύο πειραματικές ομάδες. Προ- έλεγχος, παρέμβαση (λογισμικό: The NumberRace), μετά-έλεγχος	Δεξιότητες: επεξεργασία αριθμών, προσθαφαιρέσεις, σύγκριση μεγεθών, σύγκριση αριθμών	Βελτίωση αποδόσεων των μαθητών σε όλες τις δεξιότητες μετά την παρέμβαση

De Castro et al. (2014) 26 μαθητές με χαμηλές επιδόσεις στα μαθηματικά Τάξη: Β΄ Δημοτικού Ηλικία: 7-10	Πειραματική ομάδα/Ομάδα ελέγχου, προ-μετά έλεγχος	Προ-έλεγχος, παρέμβαση (5 εβδομάδες εξάσκηση με διάφορα λογισμικά [The NumberRace, Add Up, Wrapping Presents, Hit the Balloons, κ.ά.]), μετά-έλεγχος	Διεργασίες: νοητή αριθμογραμμή Δεξιότητες: νοητοί υπολογισμοί, προσθαφαιρέσεις, επεξεργασία αριθμών	Στατιστικά σημαντική βελτίωση όλων των διεργασιών και δεξιοτήτων των μαθητών μετά την παρέμβαση
Bryant et al. (2015) 6 μαθητές με ειδική μαθησιακή δυσκολία στα μαθηματικά Τάξη: Δ΄ Δημοτικού Ηλικία: 9	Μελέτη περίπτωσης με εφαρμογή παρέμβασης	Προ-έλεγχος, παρέμβαση (3 εβδομάδες εξάσκηση με λογισμικά Math Evolve και Math Drills)	Δεξιότητες: πολλαπλασιασμός	Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στις επιδόσεις των μαθητών μετά την παρέμβαση
Salminen et al. (2015) 21 μαθητές με χαμηλές επιδόσεις στα μαθηματικά Τάξη: νηπιαγωγείο Ηλικία: 6-7	Πειραματική ομάδα/Ομάδα ελέγχου, προ-μετά έλεγχος τετραπλός	Προ-έλεγχος, παρέμβαση (2 εβδομάδες εξάσκηση με λογισμικό GraphoGame Math), μετά-έλεγχος, διάλλειμα (2 εβδομάδες), μετά-έλεγχος, καμία παρέμβαση (2 εβδομάδες), μετά-έλεγχος	Διεργασίες: έννοια του αριθμού Δεξιότητες: λεκτική αρίθμηση, σύνολα αριθμών, πρόσθεση	Η εντατική εξάσκηση με λογισμικά ενδέχεται να βελτιώσει τις μαθηματικές δεξιότητες των νηπίων
Ok & Bryant (2015) 4 μαθητές με ΑΔ Τάξη: Ε΄ Δημοτικού Ηλικία: 10	Μελέτη περίπτωσης με εφαρμογή παρέμβασης	Προ-έλεγχος, παρέμβαση, μετά-έλεγχος	Δεξιότητες: πολλαπλασιασμός	Πολύ μεγάλη βελτίωση της δεξιότητας του πολλαπλασιασμού μετά την παρέμβαση
Syah et al. (2015) 50 μαθητές με χαμηλή οπτικοχωρική αντίληψη και ΑΔ Τάξη: Δ/Α Ηλικία: 7	Προ-πειραματικό σχέδιο (μόνο πειραματική ομάδα), προ-μετά έλεγχος	Προ-έλεγχος, παρέμβαση (5 ημέρες με λογισμικό Math.ACE), μετά-έλεγχος	Δεξιότητες: μέτρηση, προσθαφαιρέσεις	Στατιστικά σημαντική βελτίωση όλων των δεξιοτήτων των μαθητών μετά την παρέμβαση
Sella et al. (2016) 25 μαθητές με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες στα μαθηματικά Τάξη: νηπιαγωγείο Ηλικία: 5-6	Πειραματική ομάδα/Ομάδα ελέγχου, προ-μετά έλεγχος	Προ-έλεγχος, παρέμβαση (10 εβδομάδες εξάσκηση με το λογισμικό NumberRace, μετά-έλεγχος	Διεργασίες: νοητή αριθμογραμμή, έννοια του αριθμού, αναπαράσταση αριθμών Δεξιότητες: προσθαφαιρέσεις	Ταχεία ανάδυση των διεργασιών και βελτίωση των δεξιοτήτων των μαθητών μετά την παρέμβαση

6. Ανάλυση

6.1 Αποτελεσματικότητα της χρήσης των εκπαιδευτικών λογισμικών

6.1.1 Ανάπτυξη μαθηματικών διεργασιών

Υποστηρίχθηκε σε παλαιότερη μελέτη ότι «οι εκπαιδευτικές παρεμβάσεις με χρήση εκπαιδευτικών λογισμικών δεν αποφέρουν πειστικά αποτελέσματα αναφορικά με την επίδοση και την ανάπτυξη μαθηματικών διεργασιών μαθητών με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες στα μαθηματικά» (Seo & Bryant, 2009, σελ. 925). Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει πάντοτε σε σύγκριση με την επίδοση των μαθητών αυτών πριν την εφαρμογή της παρέμβασης αλλά και συγκρινόμενη με την κλασική δασκαλοκεντρική διδασκαλία (Moeller, Fischer, Nuerk, & Cress, 2015). Μεταγενέστερες μελέτες έδειξαν ωστόσο ότι με επιφύλαξη πλέον γίνεται αποδεκτό το συμπέρασμα των Seo και Bryant (2009).

Στην πιλοτική εφαρμογή του εκπαιδευτικού πακέτου *Calcularis* οι Käser και συν. (2013) συμπέραναν ότι οι μαθητές νηπιαγωγείου μετά τη χρήση του λογισμικού ήταν σε θέση να αντιληφθούν ότι ένας αριθμός αναπαρίσταται με διάφορους τρόπους. Αυτό πραγματοποιήθηκε μέσω της χρήσης επιλεγμένων λογισμικών τα οποία εξασκούσαν τους μαθητές στην κατάκτηση των σταδίων του αναπτυξιακού μοντέλου των μαθηματικών δεξιοτήτων. Συγκεκριμένα, η παρέμβαση συνίστατο σε εφαρμογές όπου πρώτα δίνονταν μικρές και μεγάλες ποσότητες με διαφορετικό χρωματισμό και φόρμα. Στους μαθητές δινόταν λεκτικά το ερέθισμα (πχ. οι [2] κόκκινοι κύβοι φαίνονται λιγότεροι από τους [5] μπλε κύβους), έτσι ώστε να συνειδητοποιήσουν οπτικοακουστικά ποια είναι λιγότερα και ποια περισσότερα. Σε άλλο επίπεδο, δίνονταν διάφορες ποσότητες και οι μαθητές έπρεπε να επισημάνουν ποιες ποσότητες αντιστοιχούσαν σε δύο κύβους ή πέντε κύβους. Η νοητή αριθμογραμμή απασχόλησε το επόμενο επίπεδο όπου πλέον δινόταν ως εικονική αριθμογραμμή με μορφή οριζόντιας μπάρας στην οποία σηματοδοτούνταν συγκεκριμένοι αριθμοί (0, 5, 10, 50, 100). Με διαφορετικό χρώμα εγγράφονταν τα διάφορα διαστήματα (π.χ. με μπλε το διάστημα από 0 έως 5, με κόκκινο το διάστημα από 0-10, κ.ο.κ.).

Τα παιδιά της πειραματικής ομάδας ασκήθηκαν στην παρέμβαση για 5 εβδομάδες και η νευροαπεικονιστική αξιολόγηση που ακολούθησε έδειξε την

ενεργοποίηση νέων νευρωνικών συνάψεων σε εγκεφαλικές περιοχές που συνδέονταν με τις μαθηματικές διεργασίες (Käser et al., 2013). Όμως, και σε φύλλα αξιολόγησης που δόθηκαν στον μετά-έλεγχο οι βελτιώσεις που παρατηρήθηκαν ήταν σημαντικές. Συγκεκριμένα, σε δοκιμασίες ελέγχου της εμπέδωσης των διαφόρων αναπαραστάσεων των αριθμών οι μαθητές της πειραματικής ομάδας σημείωσαν υψηλά σκορ, γεγονός που δείχνει ότι η παρέμβαση κατέστη ενθαρρυντική όσον αφορά στην ανάπτυξη των συγκεκριμένων μαθηματικών διεργασιών. Ακόμη, οι μαθητές είχαν βελτιωθεί στην κατά προσέγγιση τοποθέτηση ενός αριθμού στην αριθμογραμμή από το 0 έως το 10. Αξίζει να σημειωθεί ότι πριν την παρέμβαση οι μαθητές της πειραματικής ομάδας δεν είχαν καμία επίγνωση της νοητής αριθμογραμμής.

Εξίσου σημαντική κρίθηκε και η βελτίωση της μαθηματικής διεργασίας της νοητής αριθμογραμμής σε άλλη έρευνα (Kucian et al., 2011). Η έρευνα αυτή συμπεριέλαβε δείγμα μεγαλύτερων παιδιών με διαγνωσμένη Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Στην πειραματική ομάδα εφαρμόστηκε παρέμβαση πάλι με επιλεγμένες δραστηριότητες του εκπαιδευτικού πακέτου *Calcularis*, τα οποία αποτέλεσαν μία ενιαία έκδοση με την επωνυμία *Rescue Calcularis*. Οι μαθητές εξασκήθηκαν καθημερινά και εντατικά. Μετά από 5 εβδομάδες αδιάλειπτης εξάσκησης διάρκειας περίπου 20 λεπτών, ο μετά-έλεγχος έδειξε ότι «τα παιδιά ήταν ικανά να εντοπίζουν έναν αριθμό στην αριθμογραμμή με ακρίβεια καθώς επίσης και να ξεχωρίζουν τις μεγαλύτερες από τις μικρότερες ποσότητες» (Kucian et al., 2011, σελ. 792). Είναι αξιοσημείωτο ότι η πειραματική ομάδα χωρίστηκε σε δύο υπο-ομάδες, από τις οποίες όταν η μία εξασκούσαν στο λογισμικό κατά τη διάρκεια των 5 εβδομάδων, η άλλη βρισκόταν σε αργία και το αντίστροφο. Ο τελικός μετά-έλεγχος έδειξε ότι τα παιδιά των δύο πειραματικών υπο-ομάδων αφενός είχαν αποτυπώσει τη νοητή αριθμογραμμή, αφετέρου η ομάδα που εξασκήθηκε πρώτη και κατά τις τελευταίες 5 εβδομάδες βρισκόταν σε αργία, φάνηκε ότι είχε κατακτήσει και συγκρατήσει τη νοητή αριθμογραμμή, αν και είχαν περάσει πολλές ημέρες αφότου είχε εξασκηθεί στο λογισμικό.

Το ζήτημα της κατάκτησης και της διατήρησης των μαθηματικών διεργασιών καθώς και της εννοιολογικής νοηματοδότησης τους απασχόλησε την έρευνα των De Castro και συν. (2014). Στην πραγματικότητα στην έρευνα αυτή εφαρμόστηκε μία εκπαιδευτική παρέμβαση σε εικονικό περιβάλλον. Οι ερευνητές χρησιμοποιώντας το εικονικό περιβάλλον *Tom's Rescue* εξέτασαν την αποτελεσματικότητα της μεικτής

διδασκαλίας μαθηματικών εννοιών. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν μαθητές δημοτικού με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες στα μαθηματικά και κλήθηκαν να συμμετάσχουν σε μία παρέμβαση η οποία συνδύαζε εικονικό περιβάλλον και εκπαιδευτικά λογισμικά. Στην πειραματική ομάδα παρουσιάστηκε το εικονικό περιβάλλον στο οποίο οι μαθητές είχαν την ελευθερία μέσα από μία ποικιλία εκπαιδευτικών λογισμικών να εξασκηθούν με όποιο λογισμικό ήθελαν. Μεταξύ άλλων συμπεριλαμβανόταν το The Number Race. Όλα τα λογισμικά αφορούσαν σε παρόμοιες μαθηματικές διεργασίες και δεξιότητες.

Ο μετά-έλεγχος έδειξε ότι οι μαθητές της πειραματικής ομάδας είχαν βελτιώσει την ικανότητα να καταμετρούν κατ' αύξουσα σειρά και να προβαίνουν σε ακριβή τοποθέτηση ενός αριθμού στην αριθμογραμμή. Ακόμη, η εξάσκηση στο λογισμικό The Number Race βελτίωσε σημαντικά την αντίληψη των παιδιών της έννοιας του αριθμού καθώς της αντίληψης της αναπαράστασης ενός αριθμού. Ειδικότερα, σε συγκεκριμένα επίπεδα του εν λόγω λογισμικού με μαθησιακό στόχο την κατάκτηση και τη διατήρηση της νοητής αριθμογραμμής, τα σκορ των μαθητών της πειραματικής ομάδας ήταν πολύ υψηλά στον μετά-έλεγχο.

Το πιο σημαντικό εύρημα της έρευνας αυτής συνίσταται στην επίτευξη της εννοιολογικής νοηματοδότησης των αριθμών από μέρους των μαθητών της πειραματικής ομάδας μέσω της παρέμβασης του εικονικού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, μέσα από την ελεύθερη επιλογή διαφορετικών λογισμικών αλλά και των πρακτικών εφαρμογών των λογισμικών, τα παιδιά στο follow-up ερωτηματολόγιο που συμπλήρωσαν δήλωσαν ότι είχαν κατανοήσει το βαθύτερο νόημα και τη χρησιμότητα των ασκήσεων και των μαθηματικών εννοιών στις σχολικές τους δραστηριότητες και στην καθημερινή τους ζωή γενικότερα. Με άλλα λόγια, η έννοια του αριθμού συνδέθηκε με απτά ζητήματα της καθημερινότητας τα οποία χρειάζεται να ποσοτικοποιηθούν προκειμένου να είναι ευκολότερο να συγκριθούν και να εκτιμηθούν (De Castro et al., 2014).

Ταχύτατη ανάπτυξη των μαθηματικών διεργασιών μετά από παρέμβαση με εκπαιδευτικά λογισμικά παρατηρήθηκε σε δύο νεότερες έρευνες (Salminen, Koronen, Leskinen, Poikkeus, & Aro, 2015; Sella, Tressoldi, Lucangeli, & Zorzi, 2016). Οι δύο έρευνες έλαβαν ως δείγμα μαθητές νηπιαγωγείου με χαμηλές επιδόσεις στα μαθηματικά (υψηλής επικινδυνότητας για ειδικές μαθησιακές δυσκολίες). Στην πρώτη έρευνα μετά την εφαρμογή της παρέμβασης τα αποτελέσματα ήταν αντιφατικά

(Salminen et al., 2015). Από την μια πλευρά, ορισμένοι μαθητές της πειραματικής ομάδας που κατάφεραν να φτάσουν σε υψηλά επίπεδα του λογισμικού (σύνθετες ασκήσεις) έδειξαν να έχουν κατακτήσει πλήρως την έννοια του αριθμού, την αναπαράσταση του αριθμού και τη νοητή αριθμογραμμή. Όμως, από την άλλη πλευρά, υπήρξαν μαθητές της πειραματικής ομάδας που, αν και έφτασαν σε υψηλά επίπεδα, δεν φάνηκε να έχουν κατακτήσει ικανοποιητικά αυτές τις μαθηματικές διεργασίες ως απόδειξη των ίδιων λαθών που έκαναν στο αρχάριο επίπεδο. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο σχεδιασμό της παρέμβασης δεν είχαν επιλεγεί συγκεκριμένα επίπεδα του λογισμικού GraphoGame Math. Συνεπώς, δεν υπήρξε καθοδήγηση και παρακολούθηση (monitoring) ως προς το είδος των δραστηριοτήτων που έπρεπε οι μαθητές να εκτελέσουν.

Στη δεύτερη έρευνα η οποία ήταν νευροψυχολογικού ενδιαφέροντος, τα αποτελέσματα ήταν εμφανώς θετικά για την αποτελεσματικότητα της χρήσης λογισμικών στην ανάπτυξη μαθηματικών διεργασιών (Sella et al., 2016). Στην προκειμένη περίπτωση, μαθητές προσχολικής ηλικίας μετά την εφαρμογή της παρέμβασης με το λογισμικό The Number Race δεν εμφάνισαν αξιοσημείωτη βελτίωση στην χωρική τοποθέτηση αριθμών στα διαστήματα 1-10 και 1-20. Όμως, οι μαθητές αναγνώριζαν με ευκολία τις ισότητες μεταξύ του αραβικών αριθμητικών συμβόλων με την ποσότητα που τους αναλογεί. Επί παραδείγματι, απαντούσαν σωστά κατά τον μετά-έλεγχο σε δοκιμασία αντιστοίχισης του αραβικού συμβόλου 3 με τις αντίστοιχη ποσότητα των τελειών ή κύβων. Η βελτίωση στην επίγνωση των διαφορών αναπαραστάσεων των αριθμών επεκτάθηκε μέχρι και τη λεκτική αναπαράσταση. Συνεπώς, υπήρξαν σωστές απαντήσεις κατά τον μετά-έλεγχο στην αντιστοίχιση του αραβικού συμβόλου με την αντίστοιχη λέξη. Είναι γεγονός ότι οι αποτυχίες των μαθητών σε σχετικά εύκολες δραστηριότητες σε σύγκριση με τις δραστηριότητες που απαιτούν πιο εξεζητημένη μαθηματική γνώση είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας. Επιβεβαιώνεται κατά αυτόν τον τρόπο τόσο το αντίστοιχο εύρημα της προηγούμενης έρευνας όσο και μιας παλαιότερης (Wilson et al., 2006a).

6.1.2 Διδασκαλία μαθηματικών δεξιοτήτων

Είναι γεγονός ότι η ανάδυση των μαθηματικών διεργασιών στα παιδιά ανοίγει το δρόμο για τη διδασκαλία και την εξάσκηση μιας πληθώρας μαθηματικών δεξιοτήτων. Από τη στιγμή που υπάρχει το απαραίτητο υπόστρωμα (μαθηματικές διεργασίες) ξεκινάει η οικοδόμηση της μαθηματικής γνώσης. Όσον αφορά στα εκπαιδευτικά λογισμικά, στην προηγούμενη παράγραφο περιεγράφηκαν ορισμένες εμπειρικές έρευνες οι οποίες συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι δύναται να αναπτυχθούν οι μαθηματικές διεργασίες μέσω ειδικά σχεδιασμένων παρεμβάσεων με εκπαιδευτικά λογισμικά. Ωστόσο, παραμένει το ερώτημα αν η διδασκαλία με αυτά τα λογισμικά μπορεί επίσης να αναπτύξει και μαθηματικές δεξιότητες σε παιδιά με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία.

Οι δεξιότητες υπολογισμού και σύγκρισης ποσοτήτων και οι στοιχειώδεις πράξεις (πρόσθεση, αφαίρεση) ήταν αντικείμενα εξάσκησης των τριών ερευνών που χρησιμοποίησαν δείγμα μαθητών νηπιαγωγείου και στην παρέμβαση τους χρησιμοποίησαν τα λογισμικά GraphoGame Math και The Number Race. Οι Räsänen και συν. (2009) συγκρίνοντας τις επιδόσεις των ομάδων που εξασκήθηκαν η καθεμία με τα δύο λογισμικά ξεχωριστά σημειώνουν ότι δεν υπήρξαν σημαντικές βελτιώσεις στις δεξιότητες υπολογισμού. Χαρακτηριστικά, στις σχετικές δραστηριότητες του λογισμικού GraphoGame Math δεν υπήρξαν αξιοσημείωτες επιδόσεις. Πολλές από τις απαντήσεις των μαθητών ήταν τυχαίες και φάνηκε ότι οι μαθητές κινητοποιούνταν απλώς και μόνον για να διαπιστώσουν τι θα συμβεί στο τέλος της δραστηριότητας. Κίνητρο λοιπόν των μαθητών ήταν όχι να εμπεδώσουν τη διαδικασία για να καταλήξουν κάπου αλλά απλώς να προσπελάσουν τις δύσκολες δραστηριότητες με όποιο κόστος ώστε να διαπιστώσουν τι θα συμβεί στο τέλος. Ίδια ευρήματα έδειξε και ο μετά-έλεγχος μετά από παρέμβαση με το λογισμικό The Number Race. Δεξιότητες, όπως η λεκτική καταμέτρηση, η σύγκριση μικρών μεγεθών και ποσοτήτων, η καταμέτρηση αντικειμένων και η πρόσθεση δεν φάνηκε να βελτιώνονται σημαντικά, αν και τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα του προηγούμενου λογισμικού.

Βελτιωμένες επιδόσεις στις στοιχειώδεις πράξεις κατέδειξαν άλλα ευρήματα. Συγκεκριμένα, οι μαθητές εξήγαγαν με επιτυχία τα αθροίσματα στις δραστηριότητες του λογισμικού The Number Race σε μία ιταλική έρευνα (Sella et al., 2016). Μετά από

την παρέμβαση οι επιδόσεις τους σε δεξιότητες υπολογισμού ήταν στατιστικά σημαντικά βελτιωμένες. Ικανοποιητικά αποτελέσματα έδειξε παρόμοια έρευνα που χρησιμοποίησε το λογισμικό GraphoGame Math (Salminen et al., 2015). Φάνηκε βελτίωση κυρίως στην πρόσθεση. Ωστόσο, παρατηρήθηκε το εξής εύρημα: οι επιδόσεις μετά την παρέμβαση διέφεραν σημαντικά μεταξύ των μαθητών. Υπήρξαν περιπτώσεις που σημείωσαν μεγάλη βελτίωση ενώ υπήρξαν και περιπτώσεις όπου οι επιδόσεις ήταν μάλλον συγκρατημένες. Ακόμη, οι μαθητές που έφτασαν στα υψηλότερα επίπεδα του λογισμικού σημείωσαν τη μεγαλύτερη βελτίωση στις δεξιότητες πρόσθεσης.

Όσον αφορά στις έρευνες που έλαβαν δείγμα μαθητών δημοτικού, τα ευρήματα διαφέρουν σημαντικά συγκριτικά με τα αντίστοιχα των δειγμάτων μαθητών νηπιαγωγείου. Ενδεχομένως, η διαφορά γίνεται εμφανής δεδομένου ότι στις πρώτες τάξεις του δημοτικού οι μαθητές διδάσκονται πλέον εντατικά τις μαθηματικές δεξιότητες που απαιτούνται για την εκτέλεση των αριθμητικών πράξεων. Ενώ δηλαδή στο νηπιαγωγείο γινόταν προσπάθεια ανάδυσης των μαθηματικών διεργασιών και ανάπτυξης των στοιχειωδών δεξιοτήτων, στο δημοτικό οι μαθητές δεν εισάγονται απλώς αλλά εξασκούνται στην πράξη σε μαθηματικούς υπολογισμούς ως μέρος του Αναλυτικού Προγράμματος αλλά και στο πλαίσιο των αναπτυξιακών τους δυνατοτήτων.

Στην περίπτωση των μαθητών δημοτικού με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία οι χαμηλές επιδόσεις στα μαθηματικά προβλήματα εντοπίζονται ακόμη και σε απλές δεξιότητες, όπως αυτές της πρόσθεσης. Η πρόσθεση είναι η πρώτη αριθμητική πράξη με την οποία οι μαθητές εισάγονται στην άλγεβρα και η κατάκτηση της θεωρείται προαπαιτούμενη για την διδασκαλία των υπόλοιπων πράξεων. Μέχρι στιγμής, οι παρεμβάσεις με λογισμικά έδειξαν ενθαρρυντικά αποτελέσματα στο πεδίο της πρόσθεσης. Αλλά και στην περίπτωση της αφαίρεσης, τα ευρήματα είναι ικανοποιητικά ως προς τις επιδόσεις των μαθητών μετά τη χρήση λογισμικού.

Οι Syah, Hamzaid, Murphy και Lim (2015) μετά την εφαρμογή μίας παρέμβασης με το λογισμικό Math.ACE παρατήρησαν στον μετά-έλεγχο αύξηση 21% των σωστών απαντήσεων στις προσθέσεις (πριν: $11,6 \pm 5,7$, μετά: $14,1 \pm 2,6$, $p = ,020$) και σημαντική αύξηση 37% των σωστών απαντήσεων στις αφαιρέσεις (πριν: $7,5 \pm 7,4$, μετά: $10,3 \pm 6,6$, $p = ,019$) για ολόκληρο το δείγμα. Όσον αφορά στην πειραματική ομάδα των μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία, η αύξηση των σωστών

απαντήσεων σε προσθέσεις και αφαιρέσεις άγγιξε το 78,9% (πριν: $7,6 \pm 6,6$, μετά: $13,6 \pm 2,8$, $p = ,009$) και το 216,7% (πριν: $1,8 \pm 4,3$, μετά: $5,7 \pm 6,7$, $p = ,035$) αντίστοιχα. Τα ευρήματα αυτά ελαχιστοποιούν την τυχαιότητα των απαντήσεων των μαθητών και ενισχύουν την υπόθεση της θετικής συμβολής του λογισμικού Math.ACE στην απόκτηση των δεξιοτήτων πρόσθεσης και αφαίρεσης.

Μία σημαντική μεθοδολογική επισήμανση για αυτή την έρευνα αφορά στο σχεδιασμό της παρέμβασης. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές εφάρμοσαν ένα πλάνο συνδυαστικής διδασκαλίας που εμπεριείχε μεν την εξάσκηση στο λογισμικό αλλά ακόμη, υπήρξε λεπτομερής χειρισμός από έναν επόπτη και συμμετοχή των ερευνητών στην παρέμβαση με υποδείξεις προς τους μαθητές και επιλογή συγκεκριμένων δραστηριοτήτων του λογισμικού. Σε καμία περίπτωση, οι μαθητές της πειραματικής ομάδας δεν αφήνονταν να ενεργούν κατά το δοκούν κατά τη διεπαφή τους με το λογισμικό. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι ίδιοι, «η παρέμβαση εφαρμόστηκε υπό την χειραγώγηση μιας συστηματικής παιδαγωγικής προσέγγισης για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία, η οποία διαφοροποιεί τα δεδομένα συγκριτικά με μια συνηθισμένη παρέμβαση με ένα εκπαιδευτικό λογισμικό» (Syah et al., 2015, σελ. 15).

Στην έρευνα των Obersteiner, Reiss και Ufer (2013) τα ευρήματα που αφορούν στις επιδόσεις των μαθητών Α΄ Δημοτικού της πειραματικής ομάδας στις αριθμητικές πράξεις ήταν συγκρατημένα. Οι μαθητές εξασκήθηκαν με το λογισμικό The Number Race και κατά τον μετά-έλεγχο οι σωστές απαντήσεις ήταν αυξημένες. Στη συγκεκριμένη έρευνα πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ τεσσάρων ομάδων, εκ των οποίων η μία ήταν η ομάδα ελέγχου και οι άλλες τρεις περιστοίχιζαν τις πειραματικές ομάδες τριών εκδόσεων του λογισμικού. Οι διαφορές στις επιδόσεις μεταξύ των τριών πειραματικών ομάδων ήταν αμελητέες. Όμως, συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου οι μαθητές των πειραματικών ομάδων είχαν ελαφρώς καλύτερες επιδόσεις σε δεξιότητες, όπως η εκτίμηση της θέσης ενός αριθμού στην αριθμογραμμή, η σύγκριση δύο μεγεθών, η πρόσθεση και η αφαίρεση. Οι ερευνητές βρίσκονται στην ίδια γραμμή με παλαιότερη σχετική έρευνα (Räsänen et al., 2009), τονίζοντας ότι αφενός οι διαφορετικές εκδόσεις του ίδιου λογισμικού δεν ασκούν κάποια επίδραση στις επιδόσεις των μαθητών και αφετέρου μετά την παρέμβαση δεν παρατηρήθηκαν αρκετά ικανοποιητικές επιδόσεις που να πιστοποιούν την θετική επίδραση του λογισμικού (Obersteiner, Reiss, & Ufer, 2013).

Είναι αξιόλογα τα ευρήματα της έρευνας που αξιολογεί την αποτελεσματικότητα του στατιστικού πακέτου Calcularis (Käser et al., 2013). Πέρα από την ανάπτυξη των μαθηματικών διεργασιών η παρέμβαση με τη χρήση του προαναφερθέντος λογισμικού βελτιώνει εντυπωσιακά τις δεξιότητες αφαίρεσης. Χαρακτηριστικά, σε μία περίπτωση μαθήτριας μετά την εφαρμογή της παρέμβασης καταγράφηκαν 23 σωστές απαντήσεις σε σύνολο 26 πράξεων τη στιγμή που πριν την παρέμβαση η συγκεκριμένη μαθήτρια κατέγραψε μόνο 10 σωστές απαντήσεις. Η έρευνα αυτή εστίασε στη διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί ώστε να επιτευχθεί η αποτελεσματικότητα του λογισμικού. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές τονίζουν ότι πρωτίστως θα πρέπει να προηγείται η ανάπτυξη των μαθηματικών διεργασιών (νοητή αριθμογραμμή) είτε με διδασκαλία είτε με υπενθύμιση είτε με απλή νύξη και στη συνέχεια να γίνεται εστίαση στην εξάσκηση της μαθηματικής δεξιότητας (αφαίρεση). Τα δύο αυτά βήματα εξασφαλίζουν στο λογισμικό μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα (Käser et al., 2013).

Η προηγούμενη έρευνα συμφωνεί με τα ευρήματα μιας παλαιότερης στην οποία μεταξύ άλλων πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση των εγκεφαλικών περιοχών που δραστηριοποιήθηκαν με νευροαπεικονιστικές τεχνικές μετά την εφαρμογή παρέμβασης με το λογισμικό Rescue Calcularis (Kucian et al., 2011). Η διαδικασία των δύο βημάτων ακολουθήθηκε και εδώ δίνοντας καλύτερες επιδόσεις σε προσθαφαιρέσεις μετά την εφαρμογή της παρέμβασης. Αυτό άλλωστε επιβεβαίωσαν και οι λήψεις από τον μαγνητικό τομογράφο για την πειραματική ομάδα. Δέκα εβδομάδες μετά το πέρας της παρέμβασης φάνηκε ότι εγκεφαλικές περιοχές που σχετίζονται με την επίλυση απλών μαθηματικών προβλημάτων, όπως οι αριθμητικές πράξεις, λειτουργούσαν φυσιολογικά τη στιγμή που πριν την παρέμβαση οι ίδιες περιοχές ήταν αδρανοποιημένες. Οι περιοχές αυτές ήταν ο ιππόκαμπος, η αριστερή ανώτερη κροταφική έλικα, η δεξιά πρόσθια μεσοκροταφική έλικα και η αριστερή μετωπική έλικα (Kucian et al., 2011). Η έρευνα αυτή κατέδειξε την αποτελεσματικότητα των λογισμικών και στη διάσταση της διατήρησης των μαθηματικών δεξιοτήτων δεδομένου ότι μετά την παρέμβαση πέρασε ένα εύλογο χρονικό διάστημα αργίας κατά το οποίο οι δεξιότητες ενδεχομένως να ξεχνιούνταν.

Εξίσου καλές ήταν οι επιδόσεις των μαθητών στις προσθαφαιρέσεις μετά από παρέμβαση εικονικού περιβάλλοντος που περιλάμβανε σύνθεση λογισμικών. Στην έρευνα των De Castro και συν. (2014) τα αποτελέσματα των μαθητών της πειραματικής

ομάδας μετά από μία πολύ προσεκτικά σχεδιασμένη και υπό χειραγώγηση παρέμβαση ήταν πολύ ικανοποιητικά. Πέρα από τις επιτυχείς προσθαφαιρέσεις παρατηρήθηκε υψηλή αποτελεσματικότητα όσον αφορά την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων που συμπεριλαμβάνουν πάνω από μία πράξη και σύνθετες δεξιότητες. Όμως, ο παράγοντας που φάνηκε να υπερισχύει στη δικαιολόγηση των υψηλών επιδόσεων των μαθητών ήταν «ο παιγνιώδης χαρακτήρας της μάθησης σε εικονικό περιβάλλον» (De Castro et al., 2014, σελ. 13). Ακόμη, φάνηκε για μία φορά ακόμη ότι «ο προσεκτικός χειρισμός του λογισμικού από τους ερευνητές και η χειραγώγηση των μαθητών κατά τη διάρκεια της παρέμβασης συμβάλλει σημαντικά στην αποτελεσματικότητα της παρέμβασης» (De Castro et al., 2014, σελ. 14).

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ευρήματα δύο ερευνών που επιχείρησαν να αναπτύξουν δεξιότητες πολλαπλασιασμού σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Πρόκειται για δύο μελέτες περιπτώσεων στις οποίες εφαρμόστηκε παρέμβαση με τα λογισμικά Math Drills και Math Evolve σε iPad (Bryant et al., 2015; Ok & Bryant, 2015). Η πρώτη μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι μαθητές βελτιώνουν τις επιδόσεις τους στον πολλαπλασιασμό έπειτα από συνδυασμένη διδασκαλία (δασκαλοκεντρική και υποβοηθούμενη από το iPad). Είναι χαρακτηριστικές οι περιπτώσεις των πέντε μαθητών του δείγματος που σημείωσαν εμφανώς καλύτερα αποτελέσματα σε πράξεις πολλαπλασιασμού στη συνθήκη συνδυασμένης διδασκαλίας συγκριτικά με τις δύο άλλες συνθήκες της παρέμβασης: της δασκαλοκεντρικής διδασκαλίας αφενός και της διδασκαλίας υποβοηθούμενης από το iPad αφετέρου. Ένα άλλο εντυπωσιακό εύρημα αυτής της μελέτης συνίσταται στις προτιμήσεις των μαθητών αναφορικά με τις τρεις συνθήκες διδασκαλίας. Οι μαθητές στο σύνολό τους διέκριντο θετικότερα απέναντι στην δασκαλοκεντρική διδασκαλία (Bryant et al., 2015).

Η δεύτερη μελέτη περίπτωση συμπεριέλαβε ένα σχέδιο παρέμβασης το οποίο εξ ορισμού περιείχε συνδυασμένη διδασκαλία (Ok & Bryant, 2015). Πρόκειται για ένα σχέδιο εντατικής, στρατηγικής παρέμβασης το οποίο, εκτός από διδασκαλία και εξάσκηση στα δύο προαναφερθέντα λογισμικά σε iPad, εμπλουτιζόταν από την καθοδήγηση των ερευνητών καθώς και δασκαλοκεντρική διδασκαλία. Μετά την παρέμβαση αυτή οι τέσσερις περιπτώσεις μαθητών Ε΄ Δημοτικού είχαν κατακτήσει το ανώτερο επίπεδο δυσκολίας στην εκτέλεση πράξεων πολλαπλασιασμού. Ακόμη και μετά από δύο εβδομάδες αφότου είχε σταματήσει η παρέμβαση, οι επιδόσεις των

τεσσάρων μαθητών ήταν σημαντικά υψηλές συγκριτικά με τον προ-έλεγχο. Στη συνέχεια, οι μαθητές ερωτήθηκαν σχετικά με τα στοιχεία της παρέμβασης που τους άρεσαν και αυτά που δεν τους άρεσαν. Χαρακτηριστικά, απάντησαν ότι τους άρεσε πολύ το γεγονός ότι μαζί με το δάσκαλο είχαν τη δυνατότητα να αξιοποιήσουν το iPad, ενώ σε έναν μαθητή δεν άρεσε το ότι συνέχιζε να χρησιμοποιεί χαρτί για να εκτελέσει τις πράξεις.

Σε γενικές γραμμές, τόσο οι μαθηματικές διεργασίες όσο και οι μαθηματικές δεξιότητες φάνηκε να ενισχύονται μετά από εξάσκηση σε επιλεγμένα λογισμικά. Ωστόσο, φάνηκε επίσης ότι δεν είναι το λογισμικό καθαυτό το μέσο με το οποίο εξασφαλίζεται η ανάπτυξη των μαθηματικών εννοιών (Moeller et al., 2015). Μέσα από τις έρευνες που προηγήθηκαν προέκυψε ότι τόσο η διαδικασία με την οποία εφαρμόζεται μία παρέμβαση με εκπαιδευτικό λογισμικό όσο και ο διδακτικός της στόχος είναι δύο παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την αποτελεσματικότητά της.

6.2 Προϋποθέσεις αποτελεσματικής χρήσης των εκπαιδευτικών λογισμικών

Οι Seo και Bryant (2009) εξήγαγαν το συμπέρασμα ότι η υποστηρικτική τεχνολογία είναι αποτελεσματική στην ανάπτυξη των μαθηματικών εννοιών με την προϋπόθεση ότι διατηρεί πάντοτε τον υποστηρικτικό, επικουρικό της χαρακτήρα. Εν ολίγοις, συνδράμει την παραδοσιακή διδασκαλία βελτιστοποιώντας την χωρίς όμως να την υποκαθιστά (De Castro et al., 2014). Στις έρευνες που αναλύθηκαν παραπάνω, αν και παρουσιάζουν αντιφατικά ευρήματα, εντούτοις φάνηκε ότι σε όσες η παραδοσιακή διδασκαλία αντικαταστάθηκε με την διδασκαλία μέσω ενός εκπαιδευτικού λογισμικού τα αποτελέσματα ήταν ορατά συγκρατημένα.

Στο σύνολο σχεδόν των επιτυχών παρεμβάσεων παρατηρήθηκε ότι η διαδικασία του σχεδιασμού περιλάμβανε ένα φυσικό πρόσωπο, το οποίο λειτουργούσε είτε ως καθοδηγητής (guide), είτε ως βοηθός (assistant), είτε ως προωθητής (promoter). Το φυσικό πρόσωπο ήταν είτε οι ίδιοι οι ερευνητές είτε εξειδικευμένοι παιδαγωγοί με κατάρτιση στην Ειδική Αγωγή. Μάλιστα, οι De Castro και συν. (2014) προτάσσουν ένα σχέδιο παρέμβασης με εικονικό περιβάλλον στο οποίο το φυσικό πρόσωπο έχει άμεση εμπλοκή στη διαδικασία καθοδηγώντας και επεμβαίνοντας σε περίπτωση που η

παρέμβαση παίρνει άλλη τροπή από αυτή που αρχικά σχεδιάστηκε. Σε άλλο σχεδιασμό οι ερευνητές επεμβαίνουν διαρρυθμίζοντας το επίπεδο δυσκολίας των δραστηριοτήτων και προτρέποντας τους μαθητές της πειραματικής ομάδας να εμμένουν ή να αφήσουν δραστηριότητες που δεν ανήκουν στο αντικείμενο εξέτασης της παρέμβασης (Käser et al., 2013).

Είναι αλήθεια ότι η εμπλοκή ενός φυσικού προσώπου μοιάζει σαν μία *sine qua non* προϋπόθεση για την επιτυχή χορήγηση ενός εκπαιδευτικού λογισμικού. Όμως, θα πρέπει να καταστεί σαφές ότι ορισμένα λογισμικά είναι σχεδιασμένα σε συνεχή γραμμική σειριακή τάξη, γεγονός που κάνει αδύνατο τον ελεύθερο χειρισμό τους (The Number Race, *Calcularis*). Με απλά λόγια, οι μαθητές είναι αναγκασμένοι να ακολουθούν τη ροή του προγράμματος χωρίς να μπορούν να αντιπαρέλθουν ορισμένες δραστηριότητες που πιθανόν να είναι ακατάλληλες για την εξάσκηση μίας συγκεκριμένης δεξιότητας. Ακόμη, ο σχεδιασμός αυτός καταργεί φαινομενικά τη συνδρομή ενός φυσικού προσώπου. Σε αυτή την περίπτωση, το φυσικό πρόσωπο (ο δάσκαλος στην προκειμένη περίπτωση) καλείται να παρέμβει είτε διακόπτοντας την εξάσκηση του λογισμικού είτε αλλάζοντας το λογισμικό με άλλο είτε προσπερνώντας ο ίδιος τις ακατάλληλες δραστηριότητες (Käser et al., 2013; Moeller et al., 2015).

Το σημείο εστίασης είναι μία προϋπόθεση η οποία δεν φάνηκε να απασχολεί τα εκπαιδευτικά λογισμικά. Λέγοντας σημείο εστίασης εννοείται κυρίως το ιδιαίτερο πεδίο ελλειμμάτων της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας το οποίο προσπαθεί να αποκαταστήσει η παρέμβαση με εκπαιδευτικά λογισμικά. Το πρόβλημα που εντοπίζεται εδώ είναι ότι, ενώ ο κύριος σχεδιασμός μιας παρέμβασης μπορεί να περιλαμβάνει την εξάσκηση μίας μόνο δεξιότητας, στην περίπτωση που η εξάσκηση πραγματοποιείται σε λογισμικό μπορεί να επιφορτίσουν πρόσθετες δραστηριότητες εξάσκησης άλλων δεξιοτήτων, κάτι που καθιστά την παρέμβαση μεθοδολογικά τρωτή. Ακόμη, αυτό μπορεί να συμβεί επειδή ο στόχος μιας δραστηριότητας ενδέχεται να είναι διττός. Για παράδειγμα, σε δραστηριότητα που ζητείται η εκτίμηση της θέσης ενός τυχαίου αριθμού σε μία αριθμογραμμή με εύρος 1-50 στην οποία αναγράφονται τα σημεία 5, 10, 15, κ.ο.κ., επιχειρείται η ανάδυση της διεργασίας της νοητής αριθμογραμμής ή η καλλιέργεια πρώιμων δεξιοτήτων πρόσθεσης;

Στις έρευνες που προηγήθηκαν φάνηκε ακόμη ότι οι ερευνητές έχουν την τάση να βασίζονται περισσότερο στους στόχους του λογισμικού παρά σε μία

στοχοκατευθυνόμενη, στρατηγική παρέμβαση που χρησιμοποιεί μόνον ως μέσο το λογισμικό. Φάνηκε δηλαδή ότι ο στόχος για τον οποίο έχει κατασκευαστεί το λογισμικό γίνεται και στόχος της παρέμβασης (Weng, Maeda, & Bouck, 2014). Αυτό το φαινόμενο ενδέχεται να αποπροσανατολίζει μία διδασκαλία η οποία, ενώ αρχικά σχεδιάστηκε για να εξυπηρετήσει συγκεκριμένους στόχους (για παράδειγμα, την ανάδυση της επίγνωσης των αριθμητικών αναπαραστάσεων), όταν φτάσει η ώρα που θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό τελικά οι αρχικοί στόχοι προσαρμόζονται για να συμπίπτουν με τους αντίστοιχους του λογισμικού (ταυτόχρονη εξάσκηση δεξιοτήτων σύγκρισης μεγεθών) .

Για να αποφευχθεί αυτή η μεθοδολογική παγίδα ορισμένοι ερευνητές απομόνωσαν επιλεγμένες δραστηριότητες πολλών λογισμικών κατασκευάζοντας μία εφαρμογή η οποία εξυπηρετούσε αποκλειστικά τους στόχους της παρέμβασης (De Castro et al., 2014). Ένας εναλλακτικός τρόπος αποφυγής είναι η χρήση παράλληλης πλατφόρμας (iPad, GameBoy, κ.ά.) ώστε να υπάρχει μεγάλη γκάμα επιλογής λογισμικών και να μην περιορίζεται η παρέμβαση στα στενά όρια του ενός λογισμικού από ηλεκτρονικό υπολογιστή (Bryant et al., 2015; Ok & Bryant, 2015; Shin et al., 2012). Ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν πάντοτε εύκολο δεδομένου ότι δεν είναι όλοι οι παιδαγωγοί ειδήμονες στη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή, πολύ περισσότερο στη χρήση των λογισμικών.

Όσον αφορά στη μέθοδο χορήγησης του λογισμικού παρατηρήθηκε ότι όταν υπάρχει μία περίοδος ξεκούρασης (αργία) μεταξύ δύο χρονικών διαστημάτων, κατά τα οποία οι μαθητές εξασκούνται με το λογισμικό, τα αποτελέσματα στις επιδόσεις τους είναι ικανοποιητικά. Όπως συμβαίνει και στο δασκαλοκεντρικό μοντέλο διδασκαλίας έτσι και στην περίπτωση των λογισμικών η μεσολάβηση μίας «νεκρής περιόδου» είναι σημαντική για την ανάπτυξη των νοητικών διεργασιών αλλά και την εμπέδωση των δεξιοτήτων. Αυτό άλλωστε επιβεβαίωσαν έρευνες στις οποίες οι μαθητές ακολούθησαν ένα πρόγραμμα παρέμβασης πολλών εβδομάδων κατά τη διάρκεια του οποίου υπήρχαν μία ή και περισσότερες περιόδους αργίας (Käser et al, 2013; Kucian et al., 2011; Salminen et al., 2015; Shin et al., 2012).

Ο χρόνος εξάσκησης των μαθηματικών δεξιοτήτων σε εκπαιδευτικό λογισμικό είναι μία σημαντική προϋπόθεση αποτελεσματικότητας. Από τις έρευνες φάνηκε ότι μαθητές που εξασκούνται κατά μέσο όρο 15-20 λεπτά πετυχαίνουν καλύτερες

επιδόσεις συγκριτικά με αυτούς που εξασκούνται λιγότερο ή περισσότερο (Bryant et al., 2015; Kucian et al., 2011; Räsänen et al., 2009; Salminen et al., 2015; Sella et al., 2016). Η μικρή αυτή χρονική διάρκεια που εξασφαλίζει την αποτελεσματικότητα του λογισμικού ενισχύει τα προηγούμενα συμπεράσματα. Είναι αμφίβολο αν ένα λογισμικό μπορεί να κατοχυρωθεί ως διδακτικά επαρκές ή να αντικαταστήσει τα φυσικά πρόσωπα, δεδομένου ότι η διάρκεια απασχόλησης με αυτό (προκειμένου να είναι αποτελεσματικό) είναι κατά πολύ μικρότερη του συνήθους 45λέπτου της διδακτικής ώρας.

Ο ακρογωνιαίος λίθος για την εξασφάλιση επιτυχίας ενός διδακτικού μέσου για τα μαθηματικά είναι η διδακτική του επάρκεια. Λέγοντας διδακτική επάρκεια εννοείται η δυνατότητα προσφοράς ευχερούς διδασκαλίας (delivering instruction) από τον διδάσκοντα στον διδασκόμενο. Εν ολίγοις, ένα διδακτικό μέσο έχει διδακτική επάρκεια όταν μπορεί να μεταδώσει το περιεχόμενό του σε ένα μαθητή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το διδακτικό μέσο είναι το λογισμικό. Είναι αλήθεια ότι η συζήτηση γύρω από την διδακτική επάρκεια των λογισμικών είναι ανεξάντλητη (Seo & Bryant, 2009). Ωστόσο, το ενδιαφέρον εδώ στρέφεται γύρω από τα εξειδικευμένα στην Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία εκπαιδευτικά λογισμικά. Όσον αφορά στα τρία αυτά λογισμικά τα ευρήματα έδειξαν ότι όσο αυτά λειτουργούν ως κύριος φορέας διδασκαλίας, οι επιδόσεις των παιδιών δεν σημειώνουν σημαντική βελτίωση (Moeller et al., 2015; Räsänen et al., 2009). Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν χρησιμοποιούνται ως υποστηρικτικός φορέας διδασκαλίας παράλληλα με ένα φυσικό πρόσωπο, οι επιδόσεις είναι σαφώς καλύτερες (Kucian et al., 2011; Obersteiner, Reiss, & Ufer, 2013). Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η διδακτική επάρκεια ενός λογισμικού εξαρτάται και εξασφαλίζεται κυρίως από το εκπαιδευτικό προσωπικό που θα χορηγήσει το λογισμικό. Κατά συνέπεια, η διδακτική επάρκεια είναι ένα σχετικό μέγεθος για την περίπτωση των εκπαιδευτικών λογισμικών (Shin et al., 2012).

Τα εκπαιδευτικά λογισμικά που συμπεριλήφθηκαν στις παραπάνω μελέτες κρίνεται ότι έχουν σχεδιαστεί περισσότερο για αξιολόγηση παρά για διδασκαλία (Käser et al., 2013; Kucian et al., 2011; Obersteiner, Reiss, & Ufer, 2013; Sella et al., 2016; Syah et al., 2015). Στο εύρημα αυτό συνηγορούν τόσο το περιεχόμενο των δραστηριοτήτων όσο και ο χρόνος εξάσκησης που κρίνεται αποτελεσματικός. Αφενός, οι περισσότερες δραστηριότητες του *Calcularis* αλλά και του *The Number Race* έχουν τη μορφή δοκιμασιών (probes). Αφετέρου, το συνιστάμενο τέταρτο της ώρας κατά το

οποίο οι μαθητές εξασκούνται στο λογισμικό δεν προδιαθέτει για διδασκαλία, δεδομένου ότι ο χρόνος είναι εξαιρετικά σύντομος. Οπότε, αυτά τα λογισμικά δίνουν την εντύπωση εναλλακτικών αξιολογικών εργαλείων που στηρίζονται είτε στην κονστρουκτιβιστική προσέγγιση είτε στην κοινωνικογνωστική προσέγγιση, αν δεχτούμε για τη δεύτερη ότι η βοήθεια που προσφέρεται έχει τη μορφή υποστηρικτικής υποδομής για την βελτιστοποίηση των μελλοντικών επιδόσεων (scaffolding).

Η δημιουργία κινήτρου για μάθηση είναι ομολογουμένως ένας πυλώνας για την οικοδόμηση μιας αποτελεσματικής διδασκαλίας. Ιδιαίτερα μάλιστα για την περίπτωση των μαθηματικών, το κίνητρο θα πρέπει να είναι ισχυρό αφού το μάθημα περιτοιχίζεται από φόβο, προκατάληψη και άγχος εκ μέρους των μαθητών (Αγαλιώτης, 2011). Στην αρχή τονίστηκε ότι τα εκπαιδευτικά λογισμικά ενισχύουν το κίνητρο μάθησης λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους. Ωστόσο, αυτό δεν ισχύει πάντοτε χωρίς προϋποθέσεις. Συγκεκριμένα, ένα λογισμικό που δεν στοχεύει σε κάποια τελική ενίσχυση παρά μονάχα περιλαμβάνει δεξιότητες εξάσκησης μάλλον μοιάζει ανιαρό στους μαθητές. Αυτό συνέβη στην περίπτωση της έρευνας των Bryant και συν. (2015), όπου οι μαθητές προτίμησαν τη δασκαλοκεντρική διδασκαλία από την διδασκαλία με λογισμικά.

Ακόμη, είναι σημαντικό η μάθηση των μαθηματικών δεξιοτήτων να γίνεται με παιγνιώδη τρόπο. Είναι χαρακτηριστικό άλλωστε ότι στις έρευνα των Shin και συν. (2012) και De Castro και συν. (2014), όπου χρησιμοποιήθηκαν λογισμικά σε παιχνιδομηχανές και σε εικονικό περιβάλλον αντίστοιχα, οι μαθητές έδειξαν να διασκεδάζουν μαθαίνοντας. Επιπλέον, οι επιδόσεις τους στις πράξεις ήταν βελτιωμένες μετά την παρέμβαση. Γίνεται λοιπόν σαφές ότι η παιγνιώδης διάσταση της μάθησης είναι μία σημαντική προϋπόθεση για την ενεργοποίηση του κινήτρου των μαθητών, το οποίο κατ' επέκταση συμβάλλει στην αποτελεσματικότητα των λογισμικών.

Σοβαρή προϋπόθεση για τη θετική συμβολή ενός εκπαιδευτικού λογισμικού για μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία είναι η ηλικιακή καταλληλότητα. Είναι γνωστό ότι τα ελλείμματα αυτής της μαθησιακής δυσκολίας δεν αποκαθίστανται όσο ένα παιδί αναπτύσσεται (Price & Ansari, 2013). Τουναντίον, χωρίς το κατάλληλο εξατομικευμένο εκπαιδευτικό πρόγραμμα τα ελλείμματα συνοδεύουν το παιδί καθ' όλη τη διάρκεια της σχολικής ζωής και συνεχίζουν να παραμένουν ακόμη και στην ενήλικη ζωή. Καθίσταται επομένως επιτακτική ανάγκη η κατασκευή λογισμικών τα οποία θα

απευθύνονται σε συγκεκριμένες ηλικιακές κατηγορίες μαθητών. Ένα λογισμικό για το νηπιαγωγείο μπορεί να έχει σχεδιαστεί ώστε να συμπεριλαμβάνει το ίδιο μαθησιακό περιεχόμενο με ένα λογισμικό για την Δ΄ Δημοτικού. Όμως, το περιβάλλον του δεν μπορεί να είναι το ίδιο αφού ο δείκτης ωριμότητας του μαθητή της Δ΄ Δημοτικού θα είναι υψηλότερος σε σύγκριση με έναν μαθητή νηπιαγωγείου. Είναι γεγονός ότι από τα τρία λογισμικά που είναι σχεδιασμένα για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία, το The Number Race είναι κατάλληλο για μαθητές δημοτικού, το The Number Catcher για μαθητές νηπιαγωγείου, ενώ το λογισμικό Calcularis καθώς και η συντομευμένη έκδοση του Rescue Calcularis φαίνεται ότι καλύπτει ένα μεγάλο εύρος ηλικιών.

Εν κατακλείδι, η αποτελεσματικότητα ενός εκπαιδευτικού λογισμικού για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία είναι συνισταμένη πολλών και σύνθετων παιδαγωγικών και τεχνικών προϋποθέσεων. Στα στενά περιθώρια αυτής της εργασίας αναδείχθηκαν μόνο εκείνες οι παιδαγωγικές προδιαγραφές που διαφοροποιούν ένα καλό λογισμικό από ένα καλύτερο.

7. Επίλογος

Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να διαπιστώσει την αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών λογισμικών με γνωστικό αντικείμενο τα μαθηματικά και κατ' επέκταση τη συμβολή τους στην εξάσκηση και διδασκαλία των μαθηματικών εννοιών σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Αναζητήθηκαν τα πορίσματα των μελετών που δημοσιεύτηκαν μετά το 2009. Επιλέχθηκαν 13 έρευνες εκ των οποίων οι 11 ήταν εμπειρικές στις οποίες πραγματοποιήθηκε παρέμβαση με εκπαιδευτικά λογισμικά, 1 μετα-ανάλυση και 1 αναφορά. Τα συμπεράσματα της μελέτης έδειξαν ότι εν τέλει τα εκπαιδευτικά λογισμικά συμβάλλουν στην διδασκαλία και εξάσκηση των μαθηματικών εννοιών σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία καθώς επίσης κατέχουν σημαντική θέση στην αποκατάσταση των ελλειμμάτων της συγκεκριμένης μαθησιακής δυσκολίας. Ωστόσο, η συμβολή και η αποτελεσματικότητά τους συμβαίνει υπό προϋποθέσεις και αυστηρές παιδαγωγικές προδιαγραφές.

7.1 Συμπεράσματα

Το πρώτο ερευνητικό ερώτημα αφορούσε αποκλειστικά στην αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών λογισμικών. Εξετάστηκε αν τα τελευταία πράγματι συνέβαλαν στην ανάπτυξη των μαθηματικών διεργασιών και αν δίδασκαν ή εξασκούσαν τις μαθηματικές δεξιότητες. Η επαναπροσέγγιση του θέματος αυτού κατέστη σημαντική λόγω των συμπερασμάτων της μετα-ανάλυσης των Seo και Bryant (2009), όπου η συμβολή των εκπαιδευτικών λογισμικών στην αποκατάσταση των ελλειμμάτων της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας δέχτηκε ισχυρή κριτική. Στα χρόνια όμως που ακολούθησαν, η έρευνα έδειξε ότι όχι μόνον υπήρξε αύξηση των επιδόσεων των μαθητών που εξασκούνταν σε εκπαιδευτικά λογισμικά, αλλά ακόμη απαρτίθησε σημαντικές προϋποθέσεις βελτιστοποίησης της αποτελεσματικότητάς τους.

Η πλειοψηφία των εμπειρικών μελετών έδειξε ικανοποιητικά αποτελέσματα στις μαθηματικές επιδόσεις των μαθητών μετά από παρέμβαση με εκπαιδευτικό λογισμικό. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τις μαθηματικές έννοιες, τόσο οι μαθηματικές διεργασίες όσο και οι μαθηματικές δεξιότητες δέχτηκαν ενίσχυση μετά την πειραματική συνθήκη. Πάντως, φάνηκε ότι τα εκπαιδευτικά λογισμικά τείνουν να αναπτύσσουν περισσότερο τις μαθηματικές διεργασίες, δηλαδή τις πρώιμες

αντιληπτικές μαθηματικές ικανότητες που είναι απαραίτητες για τη μετέπειτα μαθηματική εκπαίδευση (De Castro et al., 2014; Käser et al., 2013; Kucian et al., 2011; Sella et al., 2016). Διατυπώνοντας διαφορετικά αυτό το συμπέρασμα, συνάγεται ότι τα εκπαιδευτικά λογισμικά είναι αποτελεσματικά όταν προσφέρονται υπό μορφή εκπαιδευτικής συνδρομής αναπτυξιακής μορφής, δεδομένου ότι οι μαθηματικές διεργασίες αναδύονται κατά κανόνα στον αναπτυσσόμενο άνθρωπο και τα λογισμικά συνεπικουρούν στην ανάδυσή τους (Moeller et al., 2015).

Η διδασκαλία των μαθηματικών δεξιοτήτων έγκειται μάλλον στην παραδοσιακή διδασκαλία παρά στην διδασκαλία με εκπαιδευτικά λογισμικά. Κι αυτό επαληθεύτηκε στις μελέτες που εισήγαγαν τους μαθητές σε μία νέα μαθηματική γνώση/δεξιότητα χωρίς να έχει προηγηθεί διδασκαλία από φυσικό πρόσωπο (Bryant et al., 2015; Räsänen et al., 2015). Τα αποτελέσματα των μελετών αυτών στις επιδόσεις των μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία ήταν συγκρατημένα αισιόδοξα και οι ερευνητές εικάζουν ότι αυτό οφείλεται στη μη μεσολάβηση του ανθρώπινου παράγοντα. Στην προκειμένη περίπτωση φαίνεται ότι ισχύει μία παλαιά αλλά επίκαιρη κατευθυντήρια γραμμή σχετικά με την ηλεκτρονική διδασκαλία: ο υπολογιστής δεν είναι ο παράγοντας που ενισχύει τη μάθηση των μαθητών αλλά απλώς το μέσο παροχής διδασκαλίας (Clark, 1983).

Θα ήταν λοιπόν παρακινδυνευμένο να αναφέρεται κανείς σε διδασκαλία μαθηματικών δεξιοτήτων παρεχόμενης από εκπαιδευτικά λογισμικά. Περισσότερο συγκαταβατικό είναι το συμπέρασμα ότι τα λογισμικά αυτά υποστηρίζουν τους μαθητές με εγγενείς δυσκολίες στα μαθηματικά δίνοντας τους έναν εναλλακτικό τρόπο εξάσκησης των μαθηματικών τους δεξιοτήτων. Προσφέρουν δηλαδή μια πιο προσιτή και δελεαστική εξάσκηση έναντι αυτής του χαρτιού και του μολυβιού. Ενδεχομένως, οι επιτυχίες που καταγράφηκαν στις επιδόσεις να οφείλονται στην άμβλυνση του άγχους που συνοδεύει το μάθημα των μαθηματικών ως αποκύημα της εξάσκησης σε λογισμικό. Ωστόσο, αυτή η υπόθεση θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής μελέτης.

Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα αφορούσε στις μαθηματικές διεργασίες που αναδύονται μέσω της εξάσκησης με τα εκπαιδευτικά λογισμικά αλλά και τις μαθηματικές δεξιότητες που αναπτύσσονται. Η ανάλυση έδειξε ότι η νοητή αριθμογραμμή και η αναπαράσταση του αριθμού είναι οι διεργασίες που οι μαθητές με

Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία επιτυγχάνουν να αναπτύξουν. Επειδή, όπως τονίστηκε αρχικά, η όσο το δυνατόν πρώιμη ανάδυση των διεργασιών αυτών διευκολύνει τη μετέπειτα μαθηματική εκπαίδευση, θα πρέπει να καταλογιστεί στα θετικά σημεία της συμβολής των λογισμικών η επιτυχής ανάδυση αυτών των διεργασιών ήδη σε μαθητές νηπιαγωγείου (Salminen et al., 2015; Sella et al., 2016).

Όσον αφορά στις μαθηματικές δεξιότητες, τα εκπαιδευτικά λογισμικά προσφέρουν μία ποικιλία εξάσκησης δεξιοτήτων. Δεδομένου ότι η μελέτη αυτή συμπεριέλαβε μαθητές ηλικίας μέχρι 10 ετών και επομένως οι μαθηματικές δεξιότητες περιορίζονται στο συγκεκριμένο ηλικιακό όριο, φάνηκε ότι η σύγκριση μεγεθών και ποσοτήτων καθώς και οι αριθμητικές πράξεις της πρόσθεσης και της αφαίρεσης ευνοούνται ιδιαίτερα μετά το πέρας της εξάσκησης σε λογισμικά. Ιδιαίτερα, στην περίπτωση των εξειδικευμένων στην Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία λογισμικών προέκυψαν υψηλές επιδόσεις μετά από τις αντίστοιχες παρεμβάσεις.

Το τρίτο ερευνητικό ερώτημα αφορούσε στην εξεύρεση παραγόντων που καθιστούν ένα εκπαιδευτικό λογισμικό αποτελεσματικό για μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Από την ανάλυση προέκυψε ότι σημαντικό ρόλο παίζει η εμπλοκή ενός φυσικού προσώπου στη σχέση λογισμικού-εκπαιδευόμενου. Πέρα από την επισήμανση του Clark (1983), έχει τονιστεί ότι τα περισσότερα λογισμικά ως εκπαιδευτικό υλικό δεν έχουν σχεδιαστεί για απευθείας χρήση από τους μαθητές. Ο εκπαιδευτής είναι ο αρμόζων να διαχειριστεί το υλικό και να το προσαρμόσει ανάλογα με τις ανάγκες των μαθητών του.

Σημαντικό κριτήριο επιτυχίας αποτελεί το σημείο εστίασης των δραστηριοτήτων στα επιμέρους ελλείμματα της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας. Ας γίνει κατανοητό ότι η Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία δεν παύει να είναι μία ειδική μαθησιακή δυσκολία που μοιράζεται ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά με τα άλλα είδη μαθησιακών δυσκολιών, κυρίως όσον αφορά στη δυσκολία συγκέντρωσης και στη δυσκολία επίλυσης σύνθετων προβλημάτων. Ως εκ τούτου, είναι σχεδόν αντιπαιδαγωγικός ο σχεδιασμός δραστηριοτήτων που στοχεύουν στην αποκατάσταση πολλαπλών ελλειμμάτων. Οι σχεδιαστές των εκπαιδευτικών λογισμικών θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους ότι η πρόοδος των μαθητών αυτών συντελείται βηματικά και τμηματικά στο πλαίσιο εξάσκησης κατά βάση μεμονωμένων δραστηριοτήτων.

Η κατ' επανάληψιν εξάσκηση μιας συγκεκριμένης ομάδας δραστηριοτήτων του λογισμικού είναι μία τεχνική που βοηθάει τους μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία να εμπεδώσουν τις δεξιότητες στις οποίες αποσκοπούν οι εν λόγω δραστηριότητες. Κατά συνέπεια, αποτελεί σημαντικό παράγοντα ο σχεδιασμός μιας ποικιλίας δραστηριοτήτων με κοινούς μαθησιακούς στόχους ώστε να περιορίζεται η επανάληψη της μιας, ίδιας δραστηριότητας και η παλινδρόμηση στα ίδια επίπεδα του λογισμικού.

Η διδακτική επάρκεια δεν κρίθηκε βαρύνουσας σημασίας παράγοντας για ένα εκπαιδευτικό λογισμικό με την έννοια ότι διδάσκων είναι ο δάσκαλος και το λογισμικό είναι το μέσον. Ο δάσκαλος είναι το πρόσωπο που θα χειριστεί το λογισμικό με τέτοιο τρόπο ώστε να το καταστήσει αποτελεσματικό για την αποκατάσταση των ελλειμμάτων του μαθητή. Επομένως, η διδακτική επάρκεια είναι κριτήριο που επαφίεται στην ποιότητα του διδάσκοντος και όχι του διδακτικού μέσου. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η διδακτική επάρκεια δεν ταυτίζεται με την παιδαγωγική επάρκεια, η οποία είναι όρος ευρύτερος και συνίσταται στην ικανότητα ενός προσώπου ή ενός προϊόντος να ανταποκρίνεται στις παιδαγωγικές ανάγκες ενός αναπτυσσόμενου ανθρώπου.

Από τις προτιμήσεις των μαθητών φάνηκε ότι το κίνητρο για μάθηση διεγείρεται μέσω των λογισμικών που εμπεριέχουν παιχνίδια ή δραστηριότητες που έχουν τη μορφή παιχνιδιού. Εκτός από τα λογισμικά που τρέχουν σε υπολογιστή, τις επιδόσεις των μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία βελτιώνουν serious games των παιχνιδομηχανών (GameBoy, PS3, κ.ά.) καθώς και λογισμικά που τρέχουν σε εικονικά περιβάλλοντα (De Castro et al., 2014; Ok & Bryant, 2015; Shin et al., 2012).

Οι παιδαγωγικές προϋποθέσεις με τις οποίες ένα εκπαιδευτικό λογισμικό πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να συμβάλλει θετικά στη διδασκαλία των μαθηματικών σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία ήταν το αντικείμενο του τέταρτου ερευνητικού αντικειμένου. Αναμφισβήτητα, οι παιδαγωγικές προϋποθέσεις συνδέονται με τους παράγοντες που προαναφέρθηκαν προηγουμένως και οι οποίοι καθιστούν ένα εκπαιδευτικό λογισμικό αποτελεσματικό. Το νέο στοιχείο αφορά κυρίως σε προτάσεις κατασκευής των μελλοντικών λογισμικών που έχουν σαφή παιδαγωγικό προσανατολισμό.

Η εμπλοκή ενός φυσικού προσώπου είναι μία κομβική προϋπόθεση ενός επιτυχούς λογισμικού για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Ωστόσο, κανένα από τα εξειδικευμένα λογισμικά δεν εμπεριέχει μία επιλογή στην οποία ο δάσκαλος να μπορεί να σχεδιάζει ένα ανεξάρτητο πρόγραμμα δραστηριοτήτων από τις διαθέσιμες. Η ιδέα συνίσταται στην ενσωμάτωση ενός teacher mode, όπου ο διδάσκων θα έχει τη δυνατότητα να επιλέξει όσες δραστηριότητες θεωρεί εκείνος ότι είναι κατάλληλες για την παρέμβαση. Δίνεται έτσι η δυνατότητα προσαρμογών (modifications) στο εξατομικευμένο εκπαιδευτικό πρόγραμμα του μαθητή με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Ακόμη, με αυτή τη δυνατότητα που δίνεται στο δάσκαλο προσφέρεται η δυνατότητα σχεδιασμού στρατηγικής παρέμβασης με τις εξής επιλογές:

1. Στρατηγική παρέμβαση για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων ελλειμμάτων που σχετίζονται με τα μαθηματικά,
2. Στρατηγική παρέμβαση για την ελαχιστοποίηση του άγχους των μαθηματικών, με την επιλογή εύκολων και διασκεδαστικών δραστηριοτήτων
3. Στρατηγική παρέμβαση για την αντιμετώπιση των ευρύτερων ελλειμμάτων της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας, όπως η κακή αναγνωστική κατανόηση, η αντίληψη εσφαλμένης εικόνας του σώματος, η διαταραχή οπτικοκινητικού συντονισμού κ.ά.

Δεδομένου ότι τα λογισμικά προτίθενται να χρησιμοποιηθούν ως αξιολογικά υλικά, προτείνεται να χρησιμοποιούνται ευρέως αποδεκτά αξιολογικά συστήματα. Οι κατασκευαστές ενθαρρύνονται να χρησιμοποιούν ολιγόλεπτες δραστηριότητες με βαθμολόγηση τύπου CBM (Curriculum-Based Measurement). Η βαθμολόγηση αυτή θα είναι διαθέσιμη σε διάγραμμα, το οποίο θα είναι προσιτό στο μαθητή. Η βαθμολόγηση θα πρέπει να συνδέεται με σύστημα αμοιβών το οποίο θα είναι δελεαστικό, ώστε να υπάρξει κίνητρο για τη συνέχιση της εξάσκησης. Αν ένα σύστημα αμοιβών στηρίζεται μόνον σε ξεκλείδωμα ηρώων ή συλλογή νομισμάτων για την εξαγορά διαφόρων ικανοτήτων του ήρωα, ενδεχομένως να κριθεί συνηθισμένο. Μία εναλλακτική ιδέα που προτείνεται στους κατασκευαστές είναι η δυνατότητα εξαγοράς των ανταλλάξιμων πόντων στο Διαδίκτυο, όπου το σύστημα αμοιβών θα μπορεί να διαφοροποιείται ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα. Οι αμοιβές πέραν των συνηθισμένων, θα μπορούσαν να είναι κατάτι τολμηρότερες, όπως η αγορά της επόμενης έκδοσης του ίδιου λογισμικού με τη συλλογή του συνόλου των πόντων. Με

αυτόν τον τρόπο το αξιολογικό εργαλείο γίνεται στην κυριολεξία παιχνίδι και ο μαθητής συνδέει τα μαθηματικά με καθημερινή διασκεδαστική γνώση.

Η παιγνιώδης μάθηση ευνοείται ακόμη από μία μορφή διεπαφής που προσφέρει η υποστηρικτική τεχνολογία: την απτή διεπαφή χρήστη (tangible user interface). Αυτή προσφέρει τη δυνατότητα ζωντανής αναπαράστασης όλων των μεγεθών που τίθενται σε επεξεργασία σε μία δραστηριότητα με απτά υλικά. Οι Moeller και συν. (2015) υποστήριζαν ότι η νοητή αριθμογραμμή είναι η κατεξοχήν μαθηματική διεργασία που μπορεί να αναπτυχθεί στους μαθητές μέσω της εξάσκησης σε λογισμικά με απτή διεπαφή χρήστη. Συγκεκριμένα, οι μαθητές εξασκούνται κανονικά σε υπολογιστή, όμως τους παρέχεται η δυνατότητα να παρέμβουν στο υλικό που τους παρουσιάζεται μέσω touchpad και ακόμη μπορούν να αγγίξουν την απτή αριθμογραμμή, η οποία εκτός από εικονική, τους παρουσιάζεται ως οπτικοχωρική με τη βοήθεια ενός εξωτερικού αντικειμένου.

Η ηλικιακή καταλληλότητα ενός λογισμικού για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία είναι ίσως μια από τις σημαντικότερες παιδαγωγικές προϋποθέσεις. Στην περίπτωση αυτή ένα λογισμικό δεν μπορεί να έχει αποκλειστικά τη μορφή επιπέδων κλιμακούμενης δυσκολίας ανάλογα με την ηλικία. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία διατηρεί κοινά ελλείμματα καθ' όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης, είναι αφελές για έναν κατασκευαστή εκπαιδευτικών λογισμικών να πιστεύει ότι όσο μεγαλώνει ένα παιδί, οι δραστηριότητες ενός εξειδικευμένου λογισμικού θα πρέπει να σχεδιάζονται με τάση αύξησης της δυσκολίας. Ως εκ τούτου, είναι προτιμότερο να υπάρχουν ορισμένοι κοινοί μαθησιακοί στόχοι σε κάθε τάξη οι οποίοι θα εξυπηρετούνται από τις σχετικές δραστηριότητες. Ωστόσο, το σημείο διαφοροποίησης έγκειται στην «ωριμότερη» παρουσίαση των δραστηριοτήτων όσο αυξάνεται το εύρος των ηλικιών στο οποίο απευθύνεται το κάθε λογισμικό. Η προϋπόθεση της ηλικιακής καταλληλότητας συμμορφώνεται απόλυτα με την κατ' επανάληψιν εξάσκηση σε μαθηματικές δεξιότητες, οι οποίες ακόμη και μακροπρόθεσμα κινδυνεύουν να χαθούν.

7.2 Συνεισφορά στην εκπαίδευση

Ακολουθώντας τα συμπεράσματα θα πρέπει να καταστεί σαφής η χρησιμότητα αυτής της εργασίας σε πρακτικό επίπεδο. Οι παιδαγωγικές προϋποθέσεις που αναδείχθηκαν για το σχεδιασμό νέων εκπαιδευτικών λογισμικών αποτελούν μία στέρεη βάση πάνω στην οποία θεμελιώνονται ορισμένες πρακτικές κατευθύνσεις για τη διδασκαλία. Οι κατευθύνσεις αυτές θα ήταν χρήσιμες για παιδαγωγούς που πρόκειται να χρησιμοποιήσουν στη διδασκαλία τους εκπαιδευτικά λογισμικά.

Οι κατευθύνσεις που προκύπτουν από τα συμπεράσματα της εργασίας και αφορούν κατά βάση τους παιδαγωγούς είναι οι εξής:

1. Ο παιδαγωγός είναι βασικός πόλος της διδασκαλίας. Επομένως, οποιαδήποτε αντικατάστασή του από μη φυσικό συντελεστή διδασκαλίας καθιστά τη δυαδική παιδαγωγική σχέση προβληματική. Η υποστηρικτική τεχνολογία, όπως η ίδια χαρακτηρίζεται, απλώς συμβάλλει στην αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας. Συνεπώς, ένα εκπαιδευτικό λογισμικό δεν μπορεί να είναι παρά ένα ακόμη υποστηρικτικό μέσο διδασκαλίας.
2. Ο παιδαγωγός που χρησιμοποιεί εκπαιδευτικά λογισμικά στη διδασκαλία αρμόζει να διαθέτει ελαστικότητα στη διαμόρφωση και προσαρμογή του διδακτικού υλικού. Ωστόσο, οι στόχοι της διδασκαλίας θα πρέπει να καθίστανται εκ των προτέρων σαφείς έτσι ώστε πάντα το εκπαιδευτικό λογισμικό να χειραγωγείται από τον παιδαγωγό και ποτέ το ίδιο να χειραγωγεί τους στόχους της διδασκαλίας.
3. Το κίνητρο που προσφέρει σε ένα μαθητή ένα καλοσχεδιασμένο εκπαιδευτικό λογισμικό δεν θα πρέπει να αμελείται. Ιδιαίτερα, σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία ή σε μαθητές με άγχος για τα μαθηματικά, η διδασκαλία με εκπαιδευτικά λογισμικά μπορεί να ξεμπλοκάρει τον μαθητή από τον αρνητισμό και την προκατάληψη με την οποία προσεγγίζει το μάθημα και να δημιουργεί θετικά συναισθήματα και δελεαστικές ευκαιρίες για επιτυχίες στα μαθηματικά.
4. Τα λογισμικά προσφέρονται επίσης και για την αξιολόγηση του διδακτικού προϊόντος. Πέραν από τη συμβολή τους στη διδασκαλία οι παιδαγωγοί καλό θα ήταν να ανακαλύψουν και να εκμεταλλευτούν την αξιολογική λειτουργία των λογισμικών. Με αυτό τον τρόπο, το κλασικό διαγώνισμα ή μία πρόχειρη

δοκιμασία (test) στα μαθηματικά μπορεί να μεταμορφωθεί από αγχωτική διαδικασία σε διασκεδαστικό παιχνίδι.

5. Στο παρεμβατικό επίπεδο, οι παιδαγωγοί ενθαρρύνονται να χρησιμοποιούν τα εκπαιδευτικά λογισμικά ως μέρος της διαδικασίας αφού, όπως έγινε φανερό από τα συμπεράσματα, προσφέρουν θετικά αποτελέσματα στις επιδόσεις των μαθητών που εξασκούνται με αυτά. Η ευελιξία χρήσης των εκπαιδευτικών λογισμικών καθιστά αυτά κατάλληλα για τους περισσότερους τύπους εκπαιδευτικής παρέμβασης.

7.3 Συνεισφορά στην έρευνα

Η μετα-ανάλυση των Seo και Bryant (2009) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών λογισμικών για μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία είναι παράγοντας σκεπτικισμού και αμφισβήτησης. Οι ερευνητές στην προσπάθειά τους να υποστηρίξουν το διαμεσολαβητικό ρόλο των εκπαιδευτικών λογισμικών στη διδασκαλία (έναντι του κυρίαρχου διδακτικού), μοιραία κατέληξαν στο προαναφερθέν συμπέρασμα. Όμως, όπως φάνηκε στην παρούσα εργασία, ότι τα λογισμικά δεν μπορούν να αντικαταστήσουν το δάσκαλο, αυτό δεν σημαίνει αυτομάτως ότι δεν προσφέρουν σημαντικά οφέλη στη διδασκαλία των μαθηματικών. Τουναντίον, οι μεταγενέστερες (του 2009) εμπειρικές έρευνες φάνηκε να ανατρέπουν τα συμπεράσματα των Seo και Bryant (2009). Ως εκ τούτου, η περαιτέρω έρευνα γύρω από τη θεματική της συμβολής των εκπαιδευτικών λογισμικών στην Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία κρίνεται αναγκαϊότητα.

Αναμφισβήτητα, ο μικρός αριθμός ερευνών που συμπεριέλαβε αυτή η εργασία καθιστά σαφή τη μικρή δραστηριοποίηση των σχετικών μελετητών προς αυτήν την κατεύθυνση. Η ενασχόληση δηλαδή των ερευνητών με εξειδικευμένα λογισμικά για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία είναι υποτονική. Όμως, σε μία προσπάθεια να αντιπαρέλθουμε τους λόγους αυτής της υποτονικότητας, θεωρήθηκε χρήσιμο να παρατεθούν ορισμένες προτάσεις για τη μερίδα των ερευνητών που μελλοντικά θα ασχοληθεί με τον πολλά υποσχόμενο χώρο των εκπαιδευτικών λογισμικών και της συμβολής τους στη διδασκαλία των μαθηματικών.

Η εφαρμογή στρατηγικών παρεμβάσεων είχε ως αποτέλεσμα μεγάλη αύξηση στις μαθηματικές επιδόσεις των μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία (Ok & Bryant, 2015; Syah et al., 2015). Όχι μόνον βελτίωσε τις επιδόσεις αλλά φάνηκε επίσης να συνεισφέρει στη διατήρηση των μαθηματικών δεξιοτήτων για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ένα τέτοιο συμπέρασμα κινητοποιεί τους επόμενους σχετικούς ερευνητικούς σχεδιασμούς να λαμβάνουν υπόψη την οργανωμένη, στρατηγική παρέμβαση έναντι της απλής διαμεσολάβησης ενός λογισμικού. Με άλλα λόγια, ένα στοχευμένο πρόγραμμα παρέμβασης με χρήση λογισμικού ενδεχομένως να αποφέρει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με μία παρέμβαση που απλώς χρησιμοποιεί ως βασικό της εργαλείο ένα λογισμικό.

Το εκπαιδευτικό πακέτο *Calcularis* δίνει την εντύπωση του πλέον ολοκληρωμένου λογισμικού για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Αυτό ίσως οφείλεται στους θεωρητικούς πυλώνες της τεχνογνωσίας κατασκευής του. Συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε σύμφωνα με τα νεότερα πορίσματα της γνωσιακής νευροεπιστήμης γύρω από την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Οι δημιουργοί του κατάφεραν να συνδυάσουν τις υφιστάμενες θεωρίες για την προέλευση της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας. Η μελλοντική έρευνα καλό θα ήταν να αναγνωρίσει την αξιόλογη προσπάθεια των κατασκευαστών του *Calcularis*, λαμβάνοντάς την ως πρότυπο για την κατασκευή νέων λογισμικών. Με άλλα λόγια, τα καινούρια εκπαιδευτικά λογισμικά ενδέχεται να είναι αποτελεσματικότερα αν έχουν κατασκευαστεί έχοντας λάβει υπόψη τις επιταγές των σύγχρονων θεωριών που εξηγούν τις αιτίες, την προέλευση και τα χαρακτηριστικά της Αναπτυξιακής Δυσαριθμησίας.

Ένα ενδιαφέρον στοιχείο που αξίζει να διερευνηθεί σε μελλοντικές έρευνες είναι η στάση των μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία για τα μαθηματικά μετά από εξάσκηση με τα εκπαιδευτικά λογισμικά. Όσο κι αν φαίνεται παράλογο, ελάχιστες μελέτες έχουν εξερευνήσει αυτή τη διάσταση, η οποία σήμερα μοιάζει μάλλον δεδομένη (Kucian et al., 2011; Weng, Maeda, & Bouck, 2014). Συγκεκριμένα, στις έρευνες που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα μελέτη δεν φάνηκε να απασχόλησε τους ερευνητές αυτό το στοιχείο, μολονότι σχεδόν σε κάθε έρευνα τονίζεται ότι η θετική στάση απέναντι στα μαθηματικά ενθαρρύνει την περαιτέρω ενασχόληση και επίσης προβλέπει επιτυχίες. Μεταξύ άλλων, μία μελλοντική υπόθεση εργασίας θα μπορούσε να είναι η εξής: η εξάσκηση με εκπαιδευτικά λογισμικά μπορεί να καθορίσει μία θετική στάση γύρω από τα μαθηματικά σε μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία;

Η, με διαφορετική διατύπωση, καθίστανται τα εκπαιδευτικά λογισμικά προβλεπτικός παράγοντας θετικής στάσης για τα μαθηματικά;

7.4 Περιορισμοί

Θα ήταν πολύ παρακινδυνευμένο να υποστηριχθεί ότι η εργασία αυτή εξάντλησε τη θεματική με την οποία πραγματεύτηκε. Ως εκ τούτου, η εργασία υπόκειται σε ορισμένους περιορισμούς. Πρώτον, οι μελέτες που τέθηκαν σε ανάλυση δεν ήταν πολυάριθμες, γεγονός που περιορίζει τον πλούτο των ευρημάτων και αφήνει χώρο για ελλιπή επιχειρηματολογία. Δεύτερον, δεν υπήρξαν περιθώρια επιλογής άλλης μεθόδου ανάλυσης πλην της συμβατικής ανάλυσης περιεχομένου, δεδομένου ότι το είδος των ερευνών ποίκιλλε (ποσοτικές, ποιοτικές, μικτές), ο αριθμός τους ήταν μικρός και το ερευνητικό ενδιαφέρον ήταν πολύ εξειδικευμένο. Τρίτον, ένα από τα εκπαιδευτικά λογισμικά για την Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία απουσιάζει παντελώς από τις παρεμβάσεις των μελετών που αναλύθηκαν. Η μη εκπροσώπηση του λογισμικού The Number Catcher δημιουργεί ερωτηματικά για την αποτελεσματικότητα του και παράλληλα αποτελεί αφορμή για άμεση συμπερίληψή του σε μελλοντικούς ερευνητικούς σχεδιασμούς. Τέταρτον, η εκ των προτέρων απόφαση αποκλεισμού ενός στατιστικού μεγέθους που να καταδεικνύει το μέγεθος αποτελέσματος (effect size) στερεί από τη μελέτη αυτή ένα μέρος της συγκριτικής της αξίας, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν αριθμητικά μεγέθη για να συγκριθούν με τα παλαιότερα.

Οι εφαρμογές της τεχνολογίας στην εκπαίδευση των μαθητών με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία είναι ένα πεδίο πολλά υποσχόμενο, όπως άλλωστε φάνηκε από τα συμπεράσματα που εκμαιεύθηκαν από τις λιγοστές έρευνες που αναλύθηκαν. Μέχρι στιγμής, η εμπειρική έρευνα σχετικά με τη συμβολή των εκπαιδευτικών λογισμικών δεν έχει λάβει τις διαστάσεις που ίσως θα έπρεπε, μολονότι αποτελεί κοινό τόπο το γεγονός ότι τα ελλείμματα στην βασική μαθηματική γνώση αποτελούν σημαντικό εμπόδιο στην καθημερινή ζωή. Μελλοντικά, η ψυχοπαιδαγωγική έρευνα θα πρέπει όχι μόνον να παράγει μεγάλο αριθμό μελετών αλλά και να εξειδικεύσει το πεδίο, όπως ακριβώς έχει συμβεί με τα γλωσσικά μαθήματα.

Τα εκπαιδευτικά λογισμικά που στοχεύουν στην ανάπτυξη των μαθηματικών εννοιών αποτελούν ένα πολύ δυναμικό πεδίο συνθετικής έρευνας. Ίσως επειδή είναι

προσιτά στους μαθητές, ίσως επειδή ακολουθούν τις επιταγές των σύγχρονων παιδαγωγικών θεωριών, ίσως επειδή συνταιριάζουν την παραδοσιακή διδασκαλία με την τεχνολογία. Όποιες εικασίες κι αν κάνει κανείς, βέβαιο είναι το εξής: τα εκπαιδευτικά λογισμικά προσφέρουν έναν υποστηρικτικό τρόπο μάθησης, μία δημιουργική εξερεύνηση της λογικής επιστήμης των μαθηματικών, μία εναλλακτική πρόταση για τους μαθητές με Αναπτυξιακή Δυσαριθμησία. Είναι ένας κόσμος που επαναπροσδιορίζει τη σύγχυση μεταξύ αριθμητικής λέξης και αριθμητικού συμβόλου. Ο κόσμος αυτός, ακριβώς λόγω της εναλλακτικότητας του, επιβεβαιώνει ένα παλιό παράλογο ινδικό απόφθεγμα: *όντως, στα λογισμικά ένα κι ένα μερικές φορές κάνει έντεκα.*

Βιβλιογραφία

- Αγαλιώτης, Ι. (2011). *Διδασκαλία μαθηματικών στην ειδική αγωγή και εκπαίδευση*. Αθήνα: Εκδόσεις Γρηγόρη.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). Washington, DC: Author.
- Arhipova, S. V, & Sergeeva, O. S. (2015). Features of the information and communication technology application by the subjects of special education. *International Education Studies*, 8(6). doi:10.5539/ies.v8n6p162
- Ashkenazi, S., Rosenberg-Lee, M., Metcalfe, A. W., Swigart, A. G., & Menon, V. (2013). Visuo-spatial working memory is an important source of domain-general vulnerability in the development of arithmetic cognition. *Neuropsychologia*, 51(11), 2305-2317.
- Attout, L., Salmon, E., & Majerus, S. (2015). Working memory for serial order is dysfunctional in adults with a history of developmental dyscalculia: Evidence from behavioral and neuroimaging data. *Developmental Neuropsychology*, 40(4), 230-247. doi:10.1080/87565641.2015.1036993
- Βακάλης, Γ., & Σιβρή, Ε. (2008, Μάιος). *Η συμβολή των ΤΠΕ στην ειδική αγωγή (δυσαριθμησία και εκπαιδευτικό λογισμικό)*. Παρουσίαση στο 1^ο Πανελλήνιο Εκπαιδευτικό Συνέδριο Ημαθίας, Νάουσα.
- Baroody, A., Eiland, M., Purpura, D., & Reid, E. (2013). Can computer-assisted discovery learning foster first graders' fluency with the most basic addition combinations? *American Educational Research Journal*, 50(3), 533-573. doi:10.3102/0002831212473349
- Bryant, D. P., & Bryant, B. R. (2011). *Assistive technology for people with disabilities*. Boston, MA: Allyn & Bacon.
- Bryant, B. R., Ok, M., Kang, E. Y., Kim, M. K., Lang, R., Bryant, D. P., & Pfanestiel, K. (2015). Performance of fourth-grade students with learning disabilities on multiplication facts comparing teacher-mediated and technology-mediated interventions: A preliminary investigation. *Journal of Behavioral Education*, 24, 255-272. doi:10.1007/s10864-015-9218-z
- Clark, R. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research*, 53, 445-459.
- Clements, D. H. (2000). From exercises and tasks to problems and projects - Unique contributions of computers to innovative mathematics education. *The Journal of Mathematical Behavior*, 19(1), 9-47.
- Clements, D. H., & Gullo, D. F. (1984). Effects of computer programming on young children's cognition. *Journal of Educational Psychology*, 76(6), 1051-1058.

- Coelho, L. F., Barbosa, D. L. F., Rizzutti, S., Muszkat, M., Bueno, O. F. A., & Miranda, M. C. (2015). Use of cognitive behavioral therapy and token economy to alleviate dysfunctional behavior in children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Frontiers in Psychiatry*, 6, 1-9. doi:10.3389/fpsy.2015.00167
- Cordes, C., & Miller, E. (2000). *Fool's gold: A critical look at computers in childhood*. College Park, MD: Alliance for Childhood.
- De Castro, M. V., Bissaco, M. A. S., Panccioni, B. M., Rodrigues, S. C. M., & Domingues, A. M. (2014). Effect of a virtual environment on the development of mathematical skills in children with dyscalculia. *PLoS ONE*, 9(7). doi:10.1371/journal.pone.0103354
- De Smedt, B., Noël, M. P., Gilmore, C., & Ansari, D. (2013). How do symbolic and non-symbolic numerical magnitude processing skills relate to individual differences in children's mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Trends in Neuroscience and Education*, 2, 48-55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tine.2013.06.001>
- De Visscher, A., & Noël, P. (2013). A case study of arithmetic facts dyscalculia caused by hypersensitivity-to-interference in memory. *Cortex*, 49(1), 50-70. doi:10.1016/j.cortex.2012.01.003
- De Visscher, A., Szmalec, A., Van Der Linden, L., & Noël, P. (2015). Serial-order learning impairment and hypersensitivity-to-interference. *Cognition*, 144, 38-48. doi:10.1016/j.cognition.2015.07.007
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of numbers. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307-314.
- Felicia, A., Sharif, S., Wong, W. K., Mariappan, M. (2014). Innovation of Assistive Technologies in Special Education: A Review. *International Journal of Enhanced Research in Educational Development (IJERED)*, 2(3), 25-38.
- Fessakis, G., Gouli, E., & Mavroudi, E. (2013). Problem solving by 5-6 years old kindergarten children in a computer programming environment: A case study. *Computers & Education*, 63, 87-97. doi:10.1016/j.compedu.2012.11.016
- Geary, D. C. (2004). Mathematics and learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 37(1), 4-15. doi:10.1177/00222194040370010201
- Hennessy, S. (2000). Graphing investigations using portable (palmtop) technology. *Journal of computer assisted learning*, 16, 243-258.
- Hennessy, S., Fung, P., & Scanlon, E. (2001). The role of the graphic calculator in mediating graphing activity. *International Journal of Mathematics Education for Science and Technology*, 32(2), 267-290.
- Hintze, J. M., Christ, T. J., & Methe, S. A. (2006). Curriculum-based assessment. *Psychology in the Schools*, 43(1), 45-56. doi:10.1002/pits.20128

- Hudson, B. (1997). Group work with multimedia. *MicroMath*, 13(2), 15-20.
- Jarrett, D. (1998). *Integrating technology into middle school mathematics. It's just good teaching.* Northwest Regional Educational Laboratory. <http://www.nwrel.org/msec/book6.pdf>
- Käser, T., Baschera, G.-M., Kohn, J., Kucian, K., Richtmann, V., Grond, U., Gross, M., & von Aster, M. (2013). Design and evaluation of the computer-based training program *Calcularis* for enhancing numerical cognition. *Frontiers in Psychology*, 4, 1-13.
- Kaufmann, L., & von Aster, M. (2012). The diagnosis and management of dyscalculia. *Deutsches Ärzteblatt International*, 109(45), 767-778.
- Kucian, K., Grond, U., Rotzer, S., Henzi, B., Schönmann, C., Plangger, F., Gälli, M., Martin, E., & von Aster, M. (2011). Mental number line training in children with developmental dyscalculia. *NeuroImage*, 57, 782-795.
- Kucian, K., & von Aster, M. (2015). Developmental dyscalculia. *European Journal of Pediatrics*, 174, 1-13. doi:10.1007/s00431-014-2455-7
- Le Corre, M., & Carey, S. (2007). One, two, three, four, nothing more: An investigation of the conceptual sources of the verbal counting principles. *Cognition*, 105, 395-438. doi:10.1016/j.cognition.2006.10.005
- Μακρή-Μπότσαρη, Ε. (2006). Διαθεματικό ενιαίο πλαίσιο προγράμματος σπουδών και αναλυτικά προγράμματα σπουδών. Στο *Επιμόρφωση στελεχών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και εκπαιδευτικών στο διαθεματικό ενιαίο πλαίσιο προγραμμάτων σπουδών, τα αναλυτικά προγράμματα σπουδών και το νέο διδακτικό υλικό του γυμνασίου: Επιμορφωτικό υλικό* (σσ. 7-10). Αθήνα: Παιδαγωγικό Ινστιτούτο.
- Marino, M. T., Vasquez, E., Koch, A., Fisher, K. M., Hopkins, R., & Ezekiel Wilder, F. (in review). Preparing special educators to promote college and career readiness in STEM: The iCAN project. *Teacher Education and Special Education*.
- Moeller, K., Fischer, U., Nuerk, H.-C., & Cress, U. (2015). Computers in mathematics education – Training the mental number line. *Computers in Human Behavior*, 48, 597-607. doi:10.1016/j.chb.2015.01.048
- Murphy, J., Elliott, S. N., Goldring, E., & Porter, A. C. (2007). Leadership for learning: A research based model and taxonomy of behaviors. *School Leadership and Management*, 27(2), 179-201.
- Obersteiner, A., Reiss, K., & Ufer, S. (2013). How training on exact or approximate mental representations of number can enhance first-grade students' basic number processing and arithmetic skills. *Learning and Instruction*, 23, 125-135.
- Ok, M. W., & Bryant, D. (2015). Effects of a strategic intervention with iPad practice on the multiplication fact performance of fifth-grade students with learning disabilities. *Learning Disability Quarterly*, 1-13.

- Polat, F. (2011). Inclusion in education: A step towards social justice. *International Journal of Educational Development*, 31(1), 50-58. doi: 10.1016/j.ijedudev.2010.06.009
- Πολυχρόνη, Φ. (2011). *Ειδικές μαθησιακές δυσκολίες*. Αθήνα: Πεδίο.
- Previtali, P., de Hevia, M. D., Girelli, L. (2010). Placing order in space: The SNARC effect in serial learning. *Experimental Brain Research*, 201, 599-605. doi:10.1007/s00221-009-2063-3
- Price, G. R., & Ansari, D. (2013). Dyscalculia: Characteristics, Causes, and Treatments. *Numeracy*, 6(1), Article 2. doi:10.5038/1936-4660.6.1.2
- Räsänen, P., Salminen, J., Wilson, A. J., Aunio, P., & Dehaene, S. (2009). Computer-assisted intervention for children with low numerical skills. *Cognitive Development*, 24, 450-472. doi:10.1016/j.cogdev.2009.09.003
- Rosenberg-Lee, M., Ashkenazi, S., Chen, T., Young, C. B., Geary, D. C., & Menon, V. (2015). Brain hyper-connectivity and operation-specific deficits during arithmetic problem solving in children with developmental dyscalculia. *Developmental Science*, 18(3), 351-372. doi:10.1111/desc.12216
- Rousselle, L., & Noël, M.-P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic versus non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, 102, 361–395.
- Rubinsten, O., & Henik, A. (2009). Developmental dyscalculia: Heterogeneity might not mean different mechanisms. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(2), 92-99. Retrieved from <Go to ISI>://0002636335900007
- Rubinsten, O. (2015). Link between cognitive neuroscience and education: The case of clinical assessment of developmental dyscalculia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 1-8. doi:10.3389/fnhum.2015.00304
- Ruthven, K., & Hennessy, S. (2002). A practitioner model of the use of computer-based tools and resources to support mathematics teaching and learning. *Educational Studies in Mathematics*, 49(1), 47-88.
- Salminen, J. S., Koponen, T. K., Leskinen, M., Poikkeus, A.-M., & Aro, M. T. (2015). Individual variance in responsiveness to early computerized mathematics intervention. *Learning and Individual Differences*, 43, 124-131. doi:10.1016/j.lindif.2015.09.002
- Σαμαρτζή, Σ. (1995). *Εισαγωγή στις γνωστικές λειτουργίες*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση.
- Sarama, J., & Clements, D. H. (2009). *Early childhood mathematics education research: Learning trajectories for young children*. New York, NY: Routledge.
- Schunk, D. H. (2010). *Θεωρίες μάθησης: Μία εκπαιδευτική προσέγγιση*. Αθήνα: Εκδόσεις Μεταίχμιο.

- Sella, F., Tressoldi, P., Lucangeli, D., & Zorzi, M. (2016). Training numerical skills with the adaptive videogame "The Number Race": A randomized controlled trial on preschoolers. *Trends in Neuroscience and Education*, 5, 20-29. doi:10.1016/j.tine.2016.02.002
- Seo, Y.-J., & Bryant, D. (2009). Analysis of studies of the effects of computer-assisted instruction on the mathematics performance of students with learning disabilities. *Computers & Education*, 53, 913-928.
- Shin, N., Sutherland, L. M., Norris, C. A., & Soloway, E. (2012). Effects of game technology on elementary student learning in mathematics. *British Journal of Educational Technology*, 43(4), 540-560. doi:10.1111/j.1467-8535.2011.01197
- Skagerlund, K., & Träff, U. (2016). Number processing and heterogeneity of developmental dyscalculia: Subtypes with different cognitive profiles and deficits. *Journal of Learning Disabilities*, 49(1), 36-50.
- Sparkes, C., Thomas, T., Jackson, R., & Alexander, K. (2012). Constructivist instruction using technology vs. instructivist instruction using technology: Impacts on academic achievement in K-20 students. *The Campbell Collaboration*.
- Syah, N. E. M., Hamzaid, N. A., Murphy, B. P., & Lim, E. (2015). Development of computer play pedagogy intervention for children with low conceptual understanding in basic mathematics operation using the dyscalculia feature approach. *Interactive Learning Environments*. doi:10.1080/10494820.2015.1023205
- Symington, L., & Stranger, C. (2000). Math = success: New inclusionary software programs add up to a brighter future. *Teaching Exceptional Children*, 32, 28-33.
- University of Chicago School Mathematics Project. (2005). *Everyday mathematics teacher's lesson guide (Vol. 1)*. Columbus, OH: McGraw-Hill.
- Waiganjo, S. (2013). *Using Ict to assist dyscalculia students situation analysis for primary schools in Kenya: A case study of Starehe District Nairobi County*. Unpublished master's thesis, The University of Nairobi, Nairobi, Kenya.
- Weng, P.-L., Maeda, Y., & Bouck, E. (2014). Effectiveness of cognitive skills-based computer-assisted instruction for students with disabilities: A synthesis. *Remedial and Special Education*, 1-14.
- Wilson, A., & Dehaene, S. (2007). Number sense and developmental dyscalculia. In D. Coch, G. Dawson, & K. Fischer (Eds.), *Human behavior, learning, and the developing brain: Atypical development* (pp. 212-238). New York, NY: Guilford.
- Wilson, A., Dehaene, S., Pinel, P., Revkin, S., Cohen, L., & Cohen, D. (2006). Principles underlying the design of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 2(19). <http://www.behavioralandbrainfunctions.com/content/2/1/19>

- Wilson, A., Revkin, S., Cohen, D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2006). An open trial assessment of “The Number Race”, an adaptive computer game for remediation of dycalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 2(20).
- Wong, E. M. L., Li, S. S. C., Choi, T., & Lee, T. (2008). Insights into innovative classroom practices with ICT: Identifying the impetus for change. *Journal of Educational Technology & Society*, 11(1), 248-265.
- World Health Organization. (1992). *The ICD-10 classification of mental and behavioural disorders: Clinical descriptions and diagnostic guidelines*. Geneva: World Health Organization.
- Wynn, K. (1992). Children’s acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive Psychology*, 24, 220-251. doi:10.1016/0010-0285(92)90008-